

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

Modelado y recreación virtual del Zeppelin-Staaken R.VI con Catia V.5

Autor: Adrián Servia Martínez

Tutor: Manuel Morato Moreno

Dpto. Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Grado
Ingeniería Aeroespacial

Modelado y recreación virtual del Zeppelin-Staaken R.VI con Catia V.5

Autor:
Adrián Servia Martínez

Tutor:
Manuel Morato Moreno
Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Autor: Adrián Servia Martínez

Tutor: Manuel Morato Moreno

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis mis amigos

A ti

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia el haberme dado una educación ejemplar y haber sido un continuo apoyo en estos años, sin ellos nunca habría sido posible. También agradecer a mis amigos, los cuales me han dado unos maravillosos años de universidad y han estado siempre para ayudarme en los momentos más difíciles.

Por otro lado, me gustaría agradecerle a mi tutor Manuel Morato, primeramente, por animarme a realizar este avión y también por haber estado siempre disponible cuando lo he necesitado y haberme guiado de la mejor forma posible para la correcta realización de este proyecto.

Resumen

En este trabajo se va a modelar uno de los bombarderos alemanes más impresionantes de la Primera Guerra Mundial, el Zeppelin Staaken R.VI.

El procedimiento, que se presenta en el texto, y el cual ha servido para la elaboración del modelo de la aeronave es el siguiente.

En primer lugar, se introduce el trabajo que se va a realizar y cuales son sus propósitos. Seguidamente, se presenta al Zeppelin-Staaken y su historia. Una vez se tienen unos conocimientos básicos del avión, se hace referencia a como se ha obtenido toda la información necesaria para su recreación. Con todos los datos de partidas, se comienza el modelado. Antes de explicar cada pieza, se hace una breve presentación del modelo que se ha obtenido, y luego, se explica el proceso de ejecución en CATIA para la obtención de las distintas piezas, y de cada parte del avión que se modela. Antes se hace una breve introducción de los datos que se usan para su modelado.

La parte final del documento consta de un apartado en el cual se pueden apreciar los planos que se han obtenido de nuestro modelo. Con estos planos se puede hacer una comparativa con los datos de partida y obtener las conclusiones necesarias para saber cuanto de fiel ha sido la recreación del avión.

Abstract

In this project, one of the most important first world war German bomber aircrafts, the Zeppelin Staaken R. VI, will be modelled.

This document gathers all stages of the modelling process, from documentation to CATIA model presentation, with the following structure.

Firstly, the project motivation and objectives are detailed. Secondly, the Zeppelin Staaken history is presented along with its description. Once the aircraft basic information has been presented, the process followed to obtain all the required information is described. The Zeppelin Staaken modelling is then started using the gathered data. A global model presentation is offered previous to the detailed description of each model component. The process required to obtain each component using CATIA is explained thereupon, detailing the employed data previously to each component.

Finally, the Zeppelin Staaken model blueprints are showed. A comparison between the original data and the obtained blueprints is then carried out in order to establish the precision accomplished by the modelling process.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvi
1 Introducción	3
1.1 <i>Propósito</i>	3
1.2 <i>Metodología empleada</i>	3
2 El Zeppelin-Staaken R.VI	5
2.1 <i>Introducción</i>	5
2.2 <i>El nacimiento del avión</i>	5
2.3 <i>Operaciones del avión</i>	7
3 Documentación de partida	9
4 Diseño en Catia	13
4.1 <i>El avión</i>	13
4.2 <i>El fuselaje</i>	18
4.2.1 <i>Estrucutra del fuselaje</i>	18
4.2.2 <i>Cubierta del fuselaje</i>	23
4.2.3 <i>Detalles del fuselaje</i>	25
4.3 <i>Las Alas</i>	33
4.3.1 <i>Ala superior</i>	33
4.3.2 <i>Ala inferior</i>	41
4.3.3 <i>Montantes y cables de acero</i>	45
4.4 <i>El tren de aterrizaje</i>	47
4.4.1 <i>Tren de aterrizaje principal</i>	47
4.4.2 <i>Ruedas y llantas</i>	51
4.4.3 <i>Tren de aterrizaje de la punta</i>	53
4.5 <i>El grupo motor</i>	54
4.5.1 <i>La góndola</i>	54
4.5.2 <i>La hélice</i>	58
4.6 <i>Los estabilizadores</i>	62
4.6.1 <i>El estabilizador horizontal</i>	62
4.6.2 <i>El estabilizador vertical</i>	71
4.7 <i>El montaje del avión</i>	74
4.8 <i>Ergonomics Designs and Analysis</i>	81
5 Planos	85
6 Conclusiones y futuras mejoras	93
7 Bibliografía	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1.- Medidas de los perfiles del ala	34
Tabla 4-2.- Medidas de las ruedas	52
Tabla 4-3.- Medidas de los perfiles del estabilizador	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Menú de Catia.- Mechanical Design	4
Figura 2.1.- Alexander Baumann	5
Figura 2.2.- Zeppelin-Staaken VGO.I	6
Figura 2.3.- Zeppelin-Staaken R.IV	6
Figura 2.4.- Fotografía Zeppelin-Staaken R. VI	7
Figura 3.1.- Restos del motor expuestos en Cracovia	9
Figura 3.2.- Maqueta 1	10
Figura 3.3.- Maqueta 2	10
Figura 3.4.- Maqueta 3	10
Figura 3.5.- The German Giants R-Planes 1914-1918	11
Figura 4.1.- Zeppelin-Staaken vista frontal	13
Figura 4.2.- Zeppelin-Staaken visto desde arriba	13
Figura 4.3.- Zeppelin-Staaken vista lateral	14
Figura 4.4.- Vista explosionada de la aeronave	15
Figura 4.5.- Estructura Completa Zeppelin-Staaken R.VI	15
Figura 4.6.- Estructura desde el perfil	16
Figura 4.7.- Estructura desde el alzado	16
Figura 4.8.-Estructura desde la planta	16
Figura 4.9.- Despiece estructura del avión	17
Figura 4.10.-Secciones tubulares del fuselaje.	18
Figura 4.11.-Esquema fuselaje del avión.	19
Figura 4.12.- Skeeth del fuselaje, de perfil	20
Figura 4.13.- Superficies tubulares del fuselaje	20
Figura 4.14.- Tubos y cables del fuselaje.	21
Figura 4.15.- <i>Sketch</i> sección larguero	21
Figura 4.16.- Esqueleto del fuselaje	22
Figura 4.17.- Esqueleto del fuselaje con más detalle	22
Figura 4.18.- Estructura del fuselaje pintada	22
Figura 4.19.- Superficie de la cola	23
Figura 4.20.- Superficie del tejado	23
Figura 4.21.- Superficie de la cabina	24
Figura 4.22.- Pad de la punta	24
Figura 4.23.- Techo de la cabina	25
Figura 4.24.-Dibujo del Zeppelin-Staaken R.VI	25

Figura 4.25.- Hueco cilíndrico trasero	26
Figura 4.26.- Hueco cilíndrico delantero	26
Figura 4.27.- Foto de las ventanas del avión.	27
Figura 4.28.- Ventanas del fuselaje	27
Figura 4.29.-Foto de la maqueta del interior del fuselaje	28
Figura 4.30.- <i>Sketch</i> tanques de combustible	28
Figura 4.31.- Tanques de combustible	29
Figura 4.32.- Interior de la cabina	29
Figura 4.33.-Asiento de los Pilotos	30
Figura 4.34.-Asientos de la cabina	30
Figura 4.35.- Volantes de la cabina	31
Figura 4.36.- Cajón con botones de la cabina.	32
Figura 4.37.- Detalles del interior de la cabina.	32
Figura 4.38.- Fabricación de la estructura alar	33
Figura 4.39.- Dibujo perfil del ala	33
Figura 4.40.-Silueta del perfil elegido.	34
Figura 4.41.- Tabla de puntos del perfil.	34
Figura 4.42.- <i>Sketch</i> del perfil escalado.	35
Figura 4.43.- <i>Sketch</i> del perfil con huecos y vigas.	35
Figura 4.44.- <i>Sketch</i> de los tres perfiles del semi-ala	36
Figura 4.45.- Sólido con huecos del semi-ala superior	36
Figura 4.46.- <i>Sketch</i> para obtener costillas	37
Figura 4.47.-Costillas semi-ala superior.	37
Figura 4.48.- Costillas y vigas semi-ala superior.	38
Figura 4.49.-Ala Superior	38
Figura 4.50.-Detalle costillas y viga	38
Figura 4.51.- Pieza central del ala	39
Figura 4.52.- Barras pieza central del ala.	39
Figura 4.53.- Estructura del ala superior pintada	40
Figura 4.54.- Ala Superior Completa	40
Figura 4.55.- Sólido sin huecos del semi-ala inferior	41
Figura 4.56.- Sólido con huecos	41
Figura 4.57.- Costillas del semi-ala inferior	42
Figura 4.58.- Costillas y vigas semi-ala inferior	42
Figura 4.59.- Detalle costillas y viga	43
Figura 4.60.- Ala inferior	43
Figura 4.61.- Estructura ala inferior con color	44
Figura 4.62.- Ala inferior completa	44
Figura 4.63.-Fotografía de los montantes del ala	45

Figura 4.64.- Puntal rectangular	45
Figura 4.65.- Puntales y cables de acero	46
Figura 4.66.- Montantes y cables con color	46
Figura 4.67.-Fotografía del tren de aterrizaje principal	47
Figura 4.68.- Fotografía del tren de aterrizaje delantero	47
Figura 4.69.- Estructura tubular tren de aterrizaje principal	48
Figura 4.70.- Plataforma superior de la estructura del tren de aterrizaje principal	49
Figura 4.71.- Tren de aterrizaje principal con cables	49
Figura 4.72.- Estructura del tren de aterrizaje principal	50
Figura 4.73.- Recorte del libro sobre los datos de la rueda	51
Figura 4.74.- Llanta de la rueda del tren de punta	51
Figura 4.75.- Llanta de la rueda del tren principal	51
Figura 4.76.- Neumático del tren principal	52
Figura 4.77.- Neumático del tren de punta	52
Figura 4.78.- Tren de aterrizaje delantero, vista lateral	53
Figura 4.79.- Tren de aterrizaje delantero, vista frontal	53
Figura 4.80.-Foto góndola del motor	54
Figura 4.81.- Esquema del motor.	55
Figura 4.82.- Anillos de la góndola del motor.	55
Figura 4.83.- Góndola con espesor	56
Figura 4.84.- Hueco para la hélice	56
Figura 4.85.- Góndola con detalles	57
Figura 4.86.- Góndola del motor con color	57
Figura 4.87.- Recorte del dato del libro	58
Figura 4.88.- Foto de la hélice	58
Figura 4.89.- Foto otra hélice	59
Figura 4.90.-Hélices con cuatro palas.	59
Figura 4.91.- Eje de la hélice	60
Figura 4.92.- Hélice del avión	60
Figura 4.93.- Hélice con color	61
Figura 4.94.- Fotografía de los estabilizadores	62
Figura 4.95.- Esquema del estabilizador horizontal	62
Figura 4.96.- <i>Sketch</i> del perfil del estabilizador horizontal	63
Figura 4.97.- Perfiles del estabilizador escalados.	64
Figura 4.98.- Sólido con huecos	64
Figura 4.99.- <i>Sketch</i> para hacer las costillas	65
Figura 4.100.-Estabilizador horizontal sin parte central	65
Figura 4.101.-Parte central del estabilizador horizontal	66
Figura 4.102.- Estabilizador horizontal superior completo	66

Figura 4.103.-Estructura estabilizador horizontal superior pitando	67
Figura 4.104.- Estabilizador Horizontal superior	67
Figura 4.105.- <i>Sketch</i> del pocket	68
Figura 4.106.- Estabilizador horizontal inferior	68
Figura 4.107.- Estructura estabilizador horizontal inferior pintado	69
Figura 4.108.- Superficie del estabilizador horizontal inferior	69
Figura 4.109.- Estabilizador Horizontal inferior pintado	70
Figura 4.110.- Esquema estabilizador vertical	71
Figura 4.111.- <i>Sketchs</i> estabilizador vertical	71
Figura 4.112.- Superficies de los tubos	72
Figura 4.113.- Estabilizador vertical	72
Figura 4.114.- Estructura del estabilizador vertical pintada	73
Figura 4.115.- Estabilizador vertical con superficie	73
Figura 4.116.- Constraints	74
Figura 4.117.- Manipulation	74
Figura 4.118.- Ala inferior	75
Figura 4.119.- Ala superior	75
Figura 4.120.- Góndola	75
Figura 4.121.- Estructura del motor y cables	76
Figura 4.122.- Montantes entre alas	76
Figura 4.123.- Hélices	77
Figura 4.124.- Tren de aterrizaje	77
Figura 4.125.- Simetría entre las dos alas	78
Figura 4.126.- Establizador horizontal inferior	78
Figura 4.127.- Estabilizadores Horizontales	79
Figura 4.128.- Estabilizador Vertical	79
Figura 4.129.- Estabilizadores verticales	80
Figura 4.130.- Modelado completo	80
Figura 4.131.- New Manikin	81
Figura 4.132.- Humano	81
Figura 4.133.- Posture Editor	82
Figura 4.134.- Pilotos en los asientos	83
Figura 4.135.- Tripulante en la punta del avión	83
Figura 5.1.- New Drawing	85
Figura 5.2.- Planos de planta	86
Figura 5.3.- Planos del perfil	87
Figura 5.4.- Planos del alzado	88
Figura 5.6.- Plano planta de la estructura del avión	90
Figura 5.7.- Plano perfil estructura del avión	91

Figura 5.8.- Plano alzado estructura del avión	92
Figura 6.1.- Modelo Zeppelin-Staaken volando	93
Figura 6.2.- Imagen real del Zeppelin-Staaken R.VI	93
Figura 6.3.- Estructura del avión	94

1 INTRODUCCIÓN

El documento que se presenta a continuación consiste en un trabajo de arqueología aeronáutica. Es la recuperación del patrimonio histórico de la aeronave, basándose en libros, fotografías de la época, esquemas... es decir, de toda la información existente a cerca de la aeronave.

La recuperación se va a llevar a cabo a través del Software Catia V5 R.19, el cual permite la ejecución de la tarea de forma perfecta, ya que es uno de los programas más potentes del mercado.

El avión seleccionado para esta tarea es el Zeppelin-Staaken R.VI, un importante bombardero alemán usado en la Primera Guerra Mundial que se caracteriza por ser uno de los aviones más grandes de la época.

1.1 Propósito

La elaboración de este proyecto lleva consigo una serie de objetivos, los cuales se enumeran a continuación.

- La recuperación del patrimonio histórico del avión. Como se verá a lo largo del trabajo este avión de avanzada edad, y pocas unidades, tiene muy pocos datos sobre él, y es muy interesante realizar una recreación de este, a partir de los datos que se pueda conseguir.
- El aprendizaje y mejora en el uso del software Catia V.5. Gracias a la elaboración de este trabajo, se hará un progreso en la utilización personal de esta herramienta.
- La obtención de planos. A lo largo del trabajo se verá como hay una gran dificultad a la hora de obtener información porque se carecen de planos. Gracias al modelo se podrán obtener una serie de planos que podrán servir de utilidad. Es decir, lo denominado Ingeniería Inversa.
- Obtener conocimientos sobre la aeronáutica de la época. Gracias a la investigación que se lleva a cabo se obtendrá un amplio conocimiento sobre este tipo de aeronaves.

1.2 Metodología empleada

La herramienta que se va a utilizar para la elaboración de este modelo, como ya se ha adelantado, es el programa Catia V5.

Hoy en día, existe una gran diversidad de programas de diseño en 3D, tales como Solid Work, Solid Edge...por lo que se podría haber elegido otro. Sin embargo, la elección de este software viene dada por una serie de motivos. El principal, es que es el único que se cursa en el Grado de Ingeniería Aeroespacial, y por lo tanto es del que dispongo más conocimientos. No obstante, este programa además es el utilizado por grandes compañías en el mundo de la aeronáutica, tales como, Airbus o Boeing.

Otros motivos mas concretos que han ayudado para decidir que esta herramienta es la correcta para esta tarrea, es su potente módulo de superficies (de lo más importantes del mercado), conocido como *Wireframe and Surface Design*, el cual será de gran utilidad cuando haya que modelar zonas mas complejas.

Al ser una herramienta tan potente dispone de infinidad de módulos. Los distintos módulos usados se verán ya con mayor detalle en el apartado que se trata el modelado en Catia.

No obstante, se pueden diferenciar tres tipos distintos de herramientas (se han usado más) de todas las que tiene el software por encima de las demás. Estas son los módulos:

- *Part Design* → Se emplea para realizar cualquier tipo de pieza sólida.
- *Wireframe and Surface Design* → Se emplea para trabajar con superficies.
- *Assembly Design* → Se emplea para unir las distintas piezas

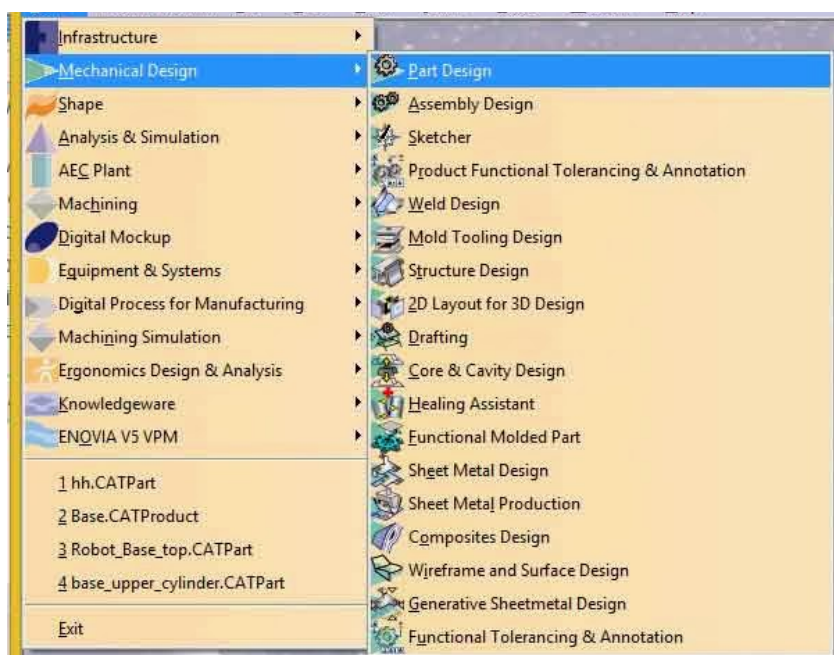


Figura 1.1.- Menú de Catia.- Mechanical Design

2 EL ZEPPELIN-STAAKEN R.VI

En este capítulo se va a describir el Zeppelin-Staaken R.VI, es decir, el avión en el que se ha basado este proyecto. Se explicará su historia, así como las características y los datos mas importantes de este avión.

2.1 Introducción

El Zeppelin-Staaken R.VI fue un bombardero pesado alemán. Se caracterizaba por su enorme envergadura, además era biplano y cuatrimotor. Fue construido por la firma Zeppelin-Staaken, la cual estaba en Gotha, y usado por el Ejército Imperial (Luftstreitkräfte) durante la Primera Guerra Mundial.

2.2 El nacimiento del avión

Los orígenes de este avión datan de 1914, que es el año en el que comienza la Primera Guerra Mundial. En el bando alemán se empezó a barajar la idea de construir aviones de grandes dimensiones que actuaran como bombarderos.

Estas ideas se fueron cuajando cada vez más, hasta tal punto que se creó, junto al grupo de ingenieros de la firma Robert Bosch GmbH, el consorcio Versuchsbau Gotha-Ost (VGO). Este consorcio se ubicó en Gotha.

Alexander Baumann (1875-1928), ingeniero aeronáutico alemán, fue el encargado de dirigir el proyecto de la construcción de estos bombarderos. Este tipo de avión ‘gigante’ era conocido en términos alemanes como Riesenflugzeug.



ALEXANDER BAUMANN
(1875–1928)

Figura 2.1.- Alexander Baumann

El Zeppelin-Staaken R.VI, como es lógico, no fue el primer bombardero que fabricó esta compañía.

El primer avión ‘gigante’ fue el VGO.I, cuyo nombre era el mismo que tenía el consorcio que se fundó para la construcción de estos aviones. Los inicios de la construcción del VGO.I se remontan a septiembre de 1914. Este avión fue el que marcó el estilo a seguir para los futuros bombrderos, es decir, fue una guía sobre su tamaño y forma.

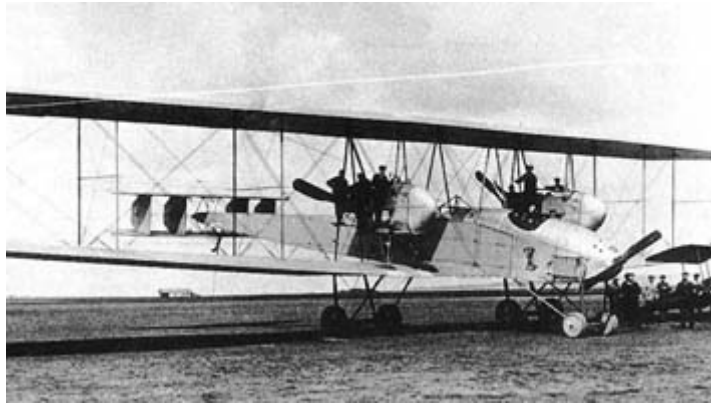


Figura 2.2.- Zeppelin-Staaken VGO.I

El VGO.I fue construido por el servicio aéreo de la Marina Imperial alemana.

Tras un accidente sufrido por el VGO.I, se pasó al siguiente modelo el cual era prácticamente idéntico, salvo alguna modificación en el grupo motor. Este fue el VGO. II.

La siguiente aeronave que construyó esta compañía fue el VGO.III, el cual se caracterizaba por tener una gran planta motora consistente en cuatro motores colocados en góndola entre las alas y dos más en la parte delantera del avión.

Tras estos aviones, los cuales no llegaron a tener gran éxito, el consorcio VGO, en 1916, se trasladó a Berlín y pasó a ser denominado Staaken. Por lo tanto el VGO.III pasó a ser el Zeppelin-Staaken R. IV. De este avión cabe destacar que fue el único que sobrevivió a la Primera Guerra Mundial. La única diferencia entre el VGO.III y el Staaken R.IV, era el tipo de motor usado, pero tenían la misma distribución motora.



Figura 2.3.- Zeppelin-Staaken R.IV

Tras el R.IV, se creó el R.V. La principal diferencia de este con el modelo anterior era que contaba con cinco motores en vez de seis. El cambio estaba en el motor de la punta del avión que en vez de llevar dos llevaba solo uno.

Tras todos estos modelos se diseñó el objeto de este proyecto, el Zeppelin-Staaken R.VI. El cual fue seleccionado para ser producido en serie, para que la mayoría sirviera al frente. Junto con los prototipos y los aviones construidos sumaron un total de dieciocho aeronaves.

Las principales características del Zeppelin-Staaken R.VI era que contaba con cuatro motores en tándem de accionamiento directo y configuración push-pull (dos hélices impulsoras y dos tractoras), y una cabina completamente cerrada.

Aunque fue diseñado por VGO, en Staaken, debido al alcance y la cantidad de carga de trabajo que tuvo el proyecto, la producción del R.VI contó con la ayuda de otras grandes compañías, estas fueron las siguientes: Siete de ellos fueron fabricados por Schütte-Lanz en Staaken, seis por Automobil und Aviatik AG (Aviatik) y cuatro por Albatros Flugzeugwerke.



Figura 2.4.- Fotografía Zeppelin-Staaken R.VI

2.3 Operaciones del avión

La misión de estos bombarderos, como el propio nombre indica, era lanzar bombas sobre las filas enemigas.

El Zeppelin-Staaken R.VI empezó su vida operacional en 1917. Las primeras unidades operaron en el Frente Oriental hasta agosto de 1917. Al ser un bombardero de gran envergadura debía operar de la forma mas sigilosa posible para que no destacara tantísimo entre las líneas enemigas. Es por eso, que solía actuar de noche, a unas altitudes de unos 2200 metros. Las misiones duraban entre cuatro y cinco horas, y se solía llevar una carga armamentística de unos 800 kg.

Posteriormente, estos aviones se trasladaron a Gante, Bélgica. Pasaron a realizar misiones de descarga de bombas sobre tropas enemigas en Gran Bretaña y Francia. Los objetivos principales de bombardeos solían ser los aeródromos y puertos enemigos.

Los Zeppelin-Staaken R.VI, como ya se ha mencionado, solían operar en la nocturnidad, por lo que requerían de ordenes por radio para su despegue, y movimientos. En sus misiones en Gran Bretaña solían usar el rio Tamesis como referencia. Se calcula que en unos diez meses descargaron sobre Gran Bretaña, la friolera de 27200 kg de bombas.

De los R.VI usados para ir a Gran Bretaña, en misiones de 600km que duraban unas siete horas entre ida y vuelta, ninguno fue derribado (no como otros aviones con los mismos propósitos). Sin embargo, el aterrizaje de estos era muy dificultoso ya que no disponían de luces para no ser avistados por tropas enemigas, esto provocó que dos de ellos se estrellaran al aterrizar volviendo a la base.

Con respecto a los otros aviones, seis quedaron destruidos debidos a accidentes por maniobras, despegue o accidentes contra edificios, por ejemplo, cuatro de ellos fueron derribados en combate, más los dos estrellados volviendo a la base, suman un total de doce. Como había dieciocho, los seis restantes sobrevivieron o fueron acabados después de la guerra.

Algunos documentos hacen referencia, a que alguno fue usado para el transporte de pasajeros, tras realizarle alguna modificación.

Una vez, que ya se conoce el avión, empezamos con el desarrollo del trabajo.

3 DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA

En el capítulo que se presenta a continuación se va a explicar como se ha obtenido toda la información a cerca del avión, ya que como se ha comentado en varias ocasiones y se comenta a lo largo del documento, sobre este avión no hay mucha información. Además, ha sido una de las tareas a las que más tiempo se ha dedicado y por ese motivo es conveniente dedicarle un capítulo a este proceso.

En primer lugar, hay que remontarse a la elección del avión. Tras hablar con el tutor, se decidió que se tratara de un avión “antiguo”, de las guerras mundiales, ya que de ese modo el avión sería más básico y por lo tanto mas fácil de modelar.

Con la idea de un avión de la primera guerra mundial, se pasó a elegir cual podría ser. Para el proceso de elección se tuvo en cuenta que no fuera un avión ya modelado en la escuela, por lo que se buscó todos los aviones modelados en Catia y fueron descartados. Tras este paso, y buscando información en distintos libros de imágenes de la biblioteca y internet, me encontré con los aviones bombarderos. Estos aviones me llamaron mucho la atención debido a su gran tamaño para ser tan antiguos. Por lo tanto, se presento al tutor las distintas propuestas, en donde estaba el Zeppelin-Staaken R.VI, el cual, al igual que a mi, le llamó bastante la atención. Como a ambos nos parecía bastante interesante decidimos apostar por este avión.

Una vez con el avión comenzó la búsqueda de información y con ello los primeros problemas. Tras varias semanas buscando no se encontró nada claro, simplemente había algunas imágenes de esquemas del avión, pero solo exteriores. Además, estas imágenes eran de algún blog de aeromodelismo. Tras no encontrar información clara con respecto a planos, fui a hablar con el tutor, y le comenté que no tenía la misma información que otros trabajos fin de grados de la misma temática y no sabía si eso iba a ser un problema. Sin embargo, se llegó a la conclusión de que ese modo sería diferente. Se haría un proceso de ingeniería inversa, en el cual, a partir de datos generales yo modelaría el avion y de ese avion obtendría planos y imágenes que pudieran servir de referencia para otras personas que quisieran estudiarlo.

Tras esto, se continuó con la búsqueda de información y es entonces cuando se encontró un blog de aeromodelismo en el cual estaban hablando sobre el Zeppelin-Staaken R.VI que cayó en combate y encontraron sus restos en Polonia. En esa entrada del blog había un hombre que parecía tener bastante conocimiento a cerca del avión. Por lo que se optó por enviarle un mensaje preguntándole a cerca de la aeronave y explicándole que estaba haciendo un proyecto a cerca de ella.

Mientras esperaba su respuesta se contacto con el museo de la guerra de Cracovia ya que en él existía los últimos restos del Zeppelin-Staaken R.VI que encontraron en Polonia. Solo estaba expuesto el motor y era interesante saber si disponían de mas información. En la contestación del e-mail fueron bastante escuetos y respondieron básicamente que solo tenían lo expuesto.



Figura 3.1.- Restos del motor expuestos en Cracovia

Con respecto al tema del blog, el hombre a los varios días respondió y el mensaje era muy completo. Comentó

que el tenía una maqueta de esa aeronave ya que le fascinaba e incluyó fotos de las distintas partes de ella. La parte exterior era como venían en las distintas fotos que había visto pero lo mas interesante fue las imágenes del interior de la aeronave. A continuación, se adjuntan algunas de las imágenes conseguidas.

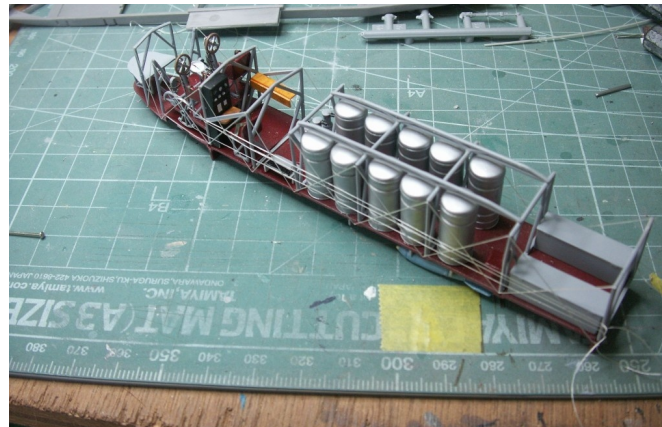


Figura 3.2.- Maqueta 1



Figura 3.3.- Maqueta 2

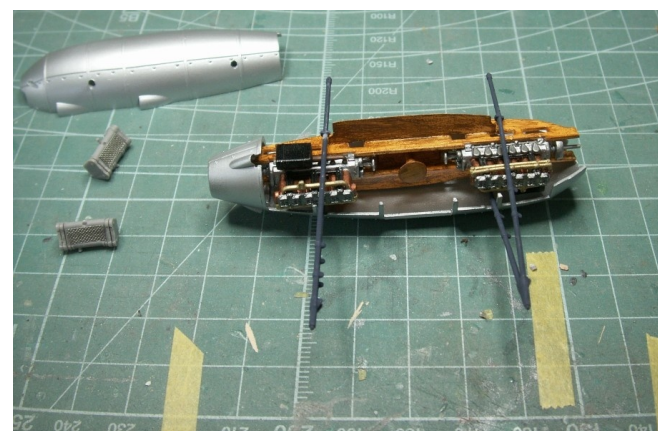


Figura 3.4.- Maqueta 3

Además, hizo referencia a un libro, del cual ya se sabía de su existencia, en el que se explicaba con mas detalles el avión. Este libro se trata de''*The German Giants R-Planes 1914-1918*''.

A pesar de conocer desde el principio su existencia no fue fácil de encontrar, en las distintas bibliotecas no estaban y por internet solo encontraba opciones para comprarlo. Finalmente, se encontró una página donde estaba escaneado al completo y se obtuvo en formato pdf.



Figura 3.5.- The German Giants R-Planes 1914-1918

Una vez con el libro en posesión comencé a leerlo. Lo primero que busque fueron planos, pero no había, algo que es lógico ya que se trata de un avión de 1918. Tampoco me gustó que las imágenes que el libro incluían al fin y al cabo eran muy similares o las mismas que había en otras webs. Sin embargo, las treinta páginas que le dedica el libro al Zeppelin Staaken R.VI y otros modelos de los Staaken, han sido muy útiles para obtener información acerca de los materiales, de su construcción y de las distintas partes de las que constaba el avión. Además, el libro de referencia incluye mas bombarderos alemanes de la época por lo que en caso de duda se puede consultar algún otro avión similar, ya que su construcción y estilo serían similares.

Por último, se ha utilizado planos y esquemas del avión, procedentes de aficionados al aeromodelismo, sobre todo para escalar las distintas medidas de las que se dispone gracias al libro de referencia. La forma de escalar se explica más adelante en el documento como se ha aplicado las distintas escalas.

Por tanto, para la elaboración del trabajo contamos con las distintas imágenes que se muestran en este documento, los datos de maquetas y webs de historia de la aviación, algunos planos esquemáticos de aficionados al aeromodelismo y el libro de referencia.

4 DISEÑO EN CATIA

En este capítulo se va a describir la realización de la aeronave en la herramienta Catia V5. Las diferentes partes de este capítulo describen el modelado pieza a pieza. Se comienza explicando la parte que se modela al completo, y luego se entra en detalle de los distintos procesos. Sin embargo, para entender mejor cada elemento, en primer lugar, se presenta la aeronave al completo, y posteriormente cada parte que la conforma.

4.1 El avión

En primer lugar, como ya se ha comentado se va a realizar una presentación completa del avión, sin tener en cuenta como se ha obtenido cada parte.



Figura 4.1.- Zeppelin-Staaken vista frontal



Figura 4.2.- Zeppelin-Staaken visto desde arriba



Figura 4.3.- Zeppelin-Staaken vista lateral

Como se puede apreciar el avión consta de un fuselaje principal, el cual mide aproximadamente 21 metros de largo, como se verá a continuación este fuselaje este compuesto de distintas secciones.

La aeronave consta también de doble ala, ambas de unos 40 metros de envergadura, con un poco de estrechamiento y la de abajo con diedro positivo. Estas alas están sujetas por una serie de montantes de madera y cables de acero para aguantar las tensiones.

Estas alas están atravesadas por una estructura de barras la cual tiene una doble función, sirve de sujeción de la góndola del motor y también para llevar el tren de aterrizaje principal.

Con respecto al tren de aterrizaje podemos diferenciar dos, el que se encuentra en las alas, que es el principal y este compuesto de ocho ruedas, y luego el de la punta, cuya función principal es evitar el contacto del morro con el terreno a la hora de aterrizar.

En referencia al grupo motor de la aeronave, está compuesto por dos motores dobles, es decir, son dos góndolas que tienen dos motores en su interior cada una, y por tanto tienen hélices en ambos extremos de la góndola del motor.

Por último, hay que destacar la cola del avión, compuesta por un estabilizador horizontal doble y el vertical doble también.

Una vez se conoce la forma y el aspecto que tiene el modelado parte se muestra a continuación una imagen en donde se ven las distintas partes de la que consta el modelo desarrollado en este proyecto.

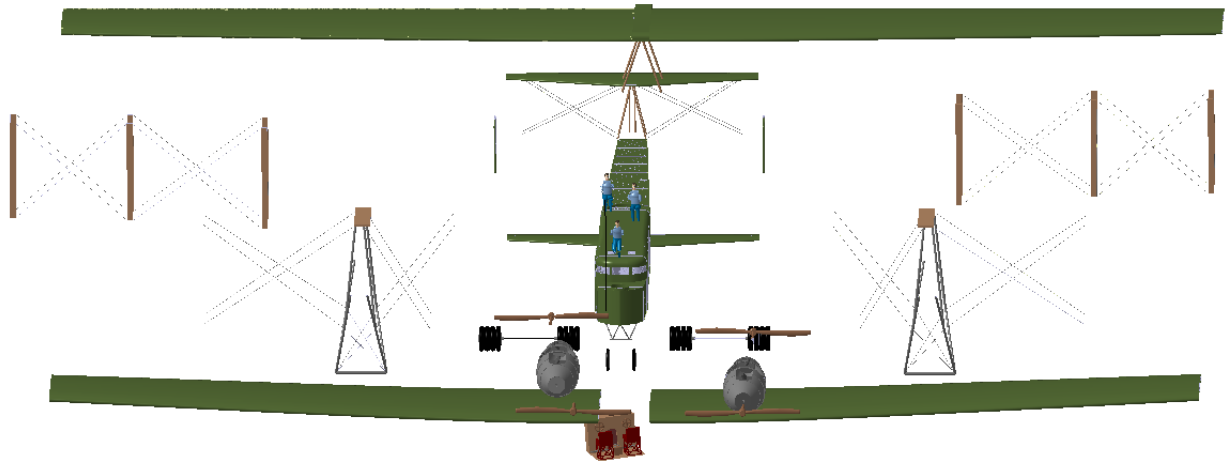


Figura 4.4.- Vista explosionada de la aeronave

Las imágenes anteriormente mostradas corresponden a la aeronave totalmente montada, es decir, con todas las superficies que recubren las distintas estructuras. Entonces, ahora, se van a mostrar una serie de imágenes que representan el avión al completo, pero estructuralmente.

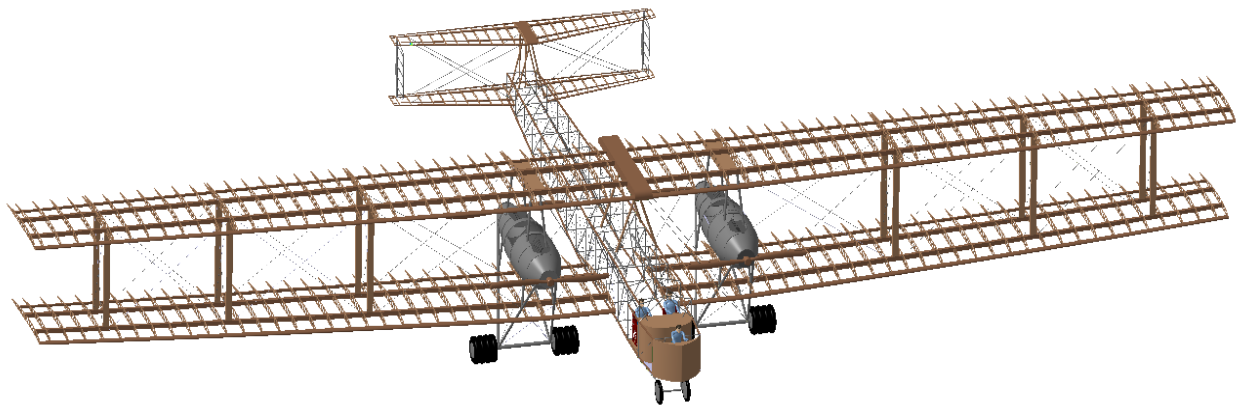


Figura 4.5.- Estructura Completa Zeppelin-Staaken R.VI

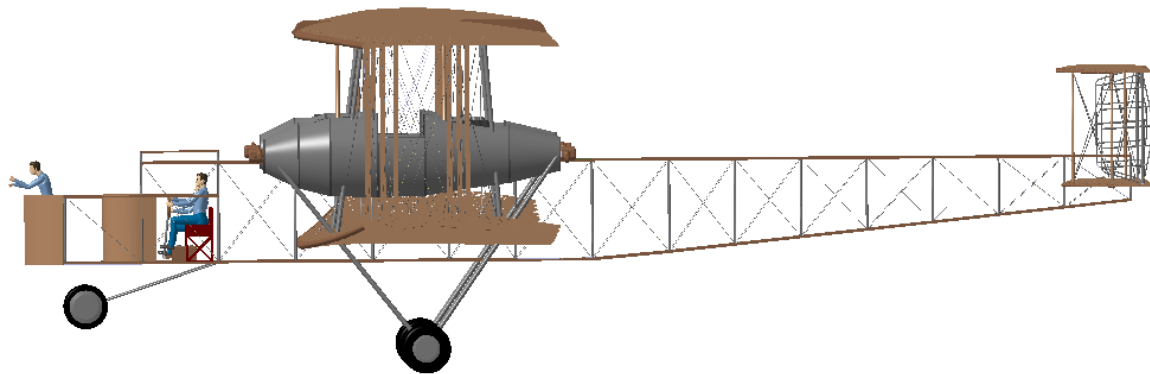


Figura 4.6.- Estructura desde el perfil

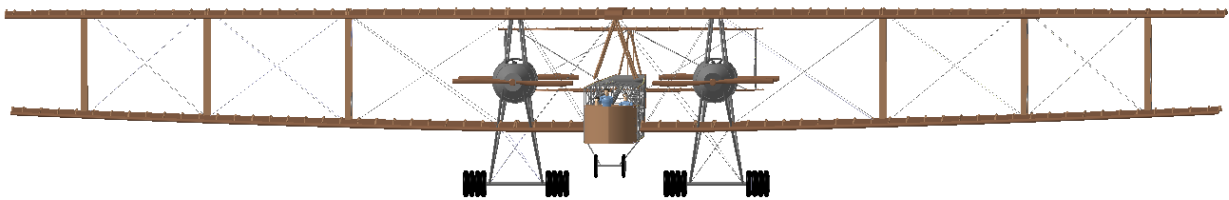


Figura 4.7.- Estructura desde el alzado

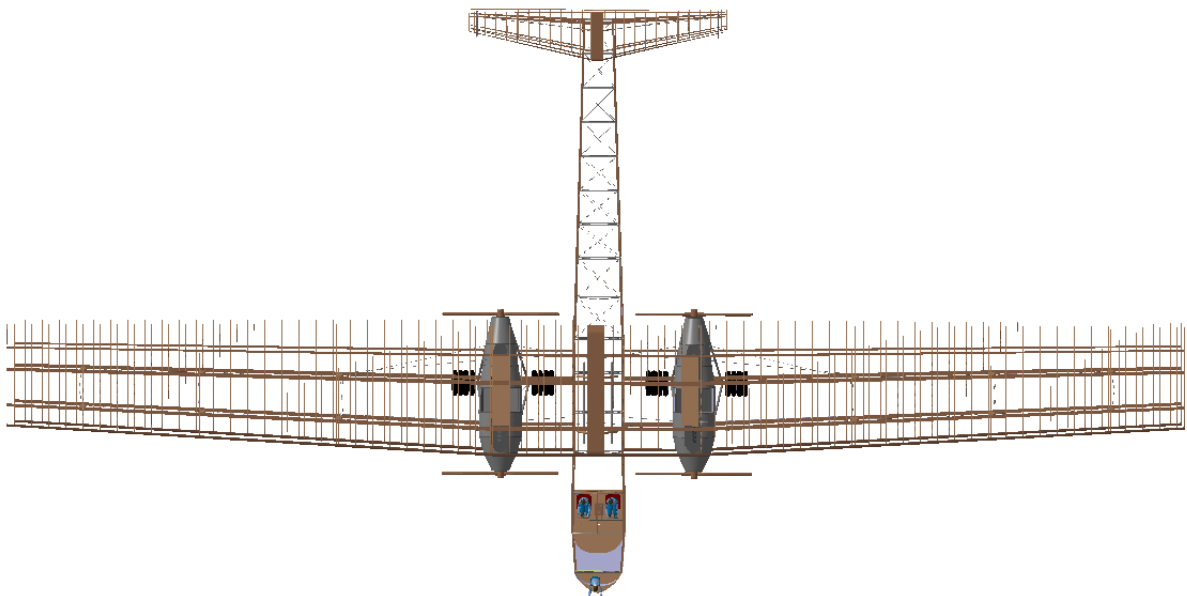


Figura 4.8.-Estructura desde la planta

Por último, antes de comenzar la explicación de como se ha realizado cada pieza, se vuelve a presentar otro despiece de la aeronave, pero esta vez, es la estructura del avión lo que se despieza.

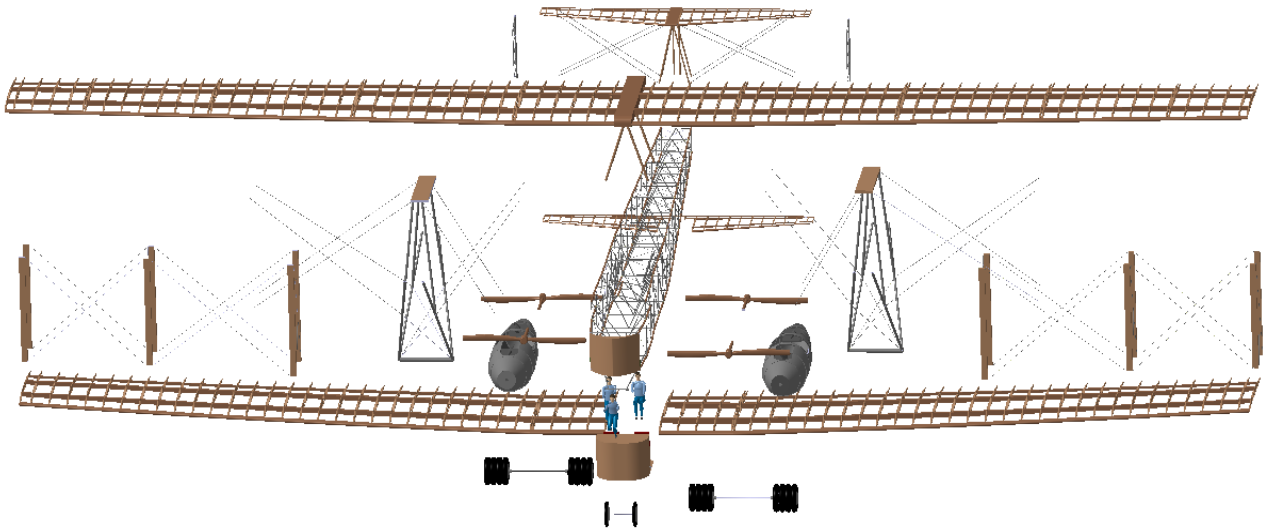


Figura 4.9.- Despiece estructura del avión

4.2 El fuselaje

El fuselaje es uno de los elementos fundamentales de la aeronave, por no decir el más importante, y eso implica que su diseño sea de los más complejos debido a todas las partes que los componen.

El modelado del fuselaje se puede dividir en distintas partes. Se puede hablar en primer lugar de la creación de la estructura del fuselaje, compuesta por las barras tubulares de las distintas secciones, los cables de acero, y los largueros rectangulares de madera. Una vez se tiene la estructura, el siguiente paso consiste en crear las cubiertas del fuselaje, tanto de la parte delantera como de la cola. Por último, se realizan todos los detalles incluidos en el fuselaje.

4.2.1 Estructura del fuselaje

La estructura del fuselaje es una de las partes fundamentales del fuselaje. Se sabe, a través de la información proporcionada por el libro y los distintos documentos utilizados, que el fuselaje estaba compuesto por varias partes, tenía una serie de secciones transversales las cuales eran de tubos metálicos. Estas secciones estaban unidas a través de cuatro largueros de sección rectangular de madera. Además, las secciones de la cola constaban de unos cables de acero que servían de refuerzos para las tensiones.

La forma de las distintas secciones se ha obtenido de unos planos (dibujos) realizados en la época, que son los siguientes:

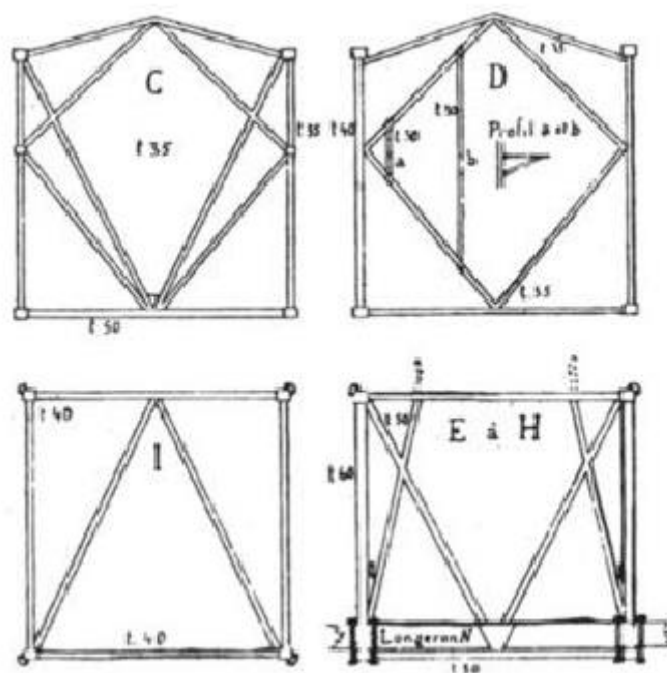


Figura 4.10.-Secciones tubulares del fuselaje.

Las letras que aparecen en el centro de los esquemas hacen referencia a la colocación de la sección a lo largo del avión. También se observa con claridad por donde pasan los largueros rectangulares anteriormente comentados, ya que se ven los rectángulos en las esquinas de las secciones. Las secciones finales de la cola del avión se han considerado como la I, y van disminuyendo de tamaño proporcionalmente, de sección a sección para obtener la forma de la cola.

Junto a las secciones tubulares, se encontraban también los cables de acero, que sirven como refuerzo. La distribución de los cables se puede intuir de la siguiente imagen:

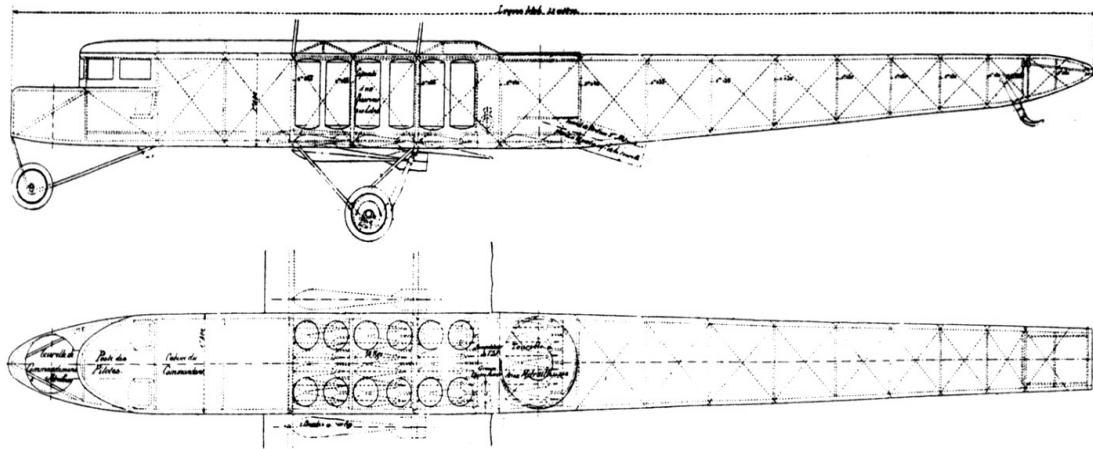


Figura 4.11.-Esquema fuselaje del avión.

De la imagen anterior se intuye claramente como es la distribución de los cables de refuerzo. Lateralmente están posicionados de forma diagonal a lo largo de toda la aeronave, tanto en la cola como en la parte frontal. Desde la vista en planta, sin embargo, se aprecia como solo hay cables en la parte superior e inferior de la estructura en la parte de la cola.

Con respecto a los datos numéricos del grosor de los cables y de los tubos no se tiene información explícita, al ser muy finos no se puede aplicar una escala en los planos de lo que se dispone ya que no es nada preciso, por tanto, se opta por intuirlos con lógica.

Los cables tienen un grosor de 8 mm y las barras de 40 mm.

Por otra parte, respecto a las medidas de las secciones si se han podido hacer de forma más precisa. Esto es así porque gracias a los esquemas de las secciones y el conocimiento de la altura del fuselaje se ha podido aplicar un factor de escala y obtener las distintas medidas.

Las secciones más altas miden 2 metros y la más ancha 1.8 metros. Luego las secciones de la cola se han ido reduciendo las medidas gradualmente, ya que esta disminuye proporcionalmente.

A continuación, se explica cómo se ha llevado a cabo el modelado de esta parte en Catia.

En primer lugar, se realizan los *Sketchs* de todas las secciones que conforman el fuselaje. Estos *Sketches* se hacen en planos que previamente han sido colocados paralelamente unos a otros, existiendo entre ellos la distancia correspondiente entre cada sección. Estas distancias se han obtenido a través de un plano en papel, y conocida la longitud del fuselaje, se ha escalado y se ha medido a mano.

Con todos los *Sketch* hechos, se hace líneas que unan los vértices correspondientes a donde irían situados los cables de acero.

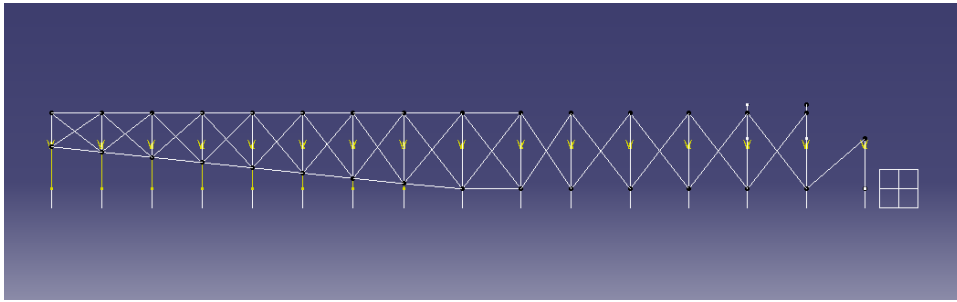


Figura 4.12.- Skech del fuselaje, de perfil

Una vez se tienen todos los *Sketchs* preparados se pasa a generar las superficies. Para generarlas se usarán dos procedimientos distintos. Para las secciones transversales se usa la orden *Cylinder* y para los cables se usa *Sweep*. Realmente es mucho más cómodo usar la segunda, ya que para *Cylinder* necesitas conocer la longitud de la línea sobre la que se va a generar el cilindro. Sin embargo, hay que usarla en las secciones transversales, ya que están generadas en el mismo *Sketch* y si se ejecuta la orden *Sweep* aparece un error que hace referencia a que no se puede generar el cilindro. Entonces hay que hacerlo línea a línea. *Sweep* es más cómoda, porque simplemente hay que seleccionar el *Sketch* donde se quiere generar la superficie cilíndrica y el radio de esta.

Una vez se ha tenido lo anterior en cuenta, se ejecutan las distintas órdenes y se obtiene el resultado mostrado a continuación.

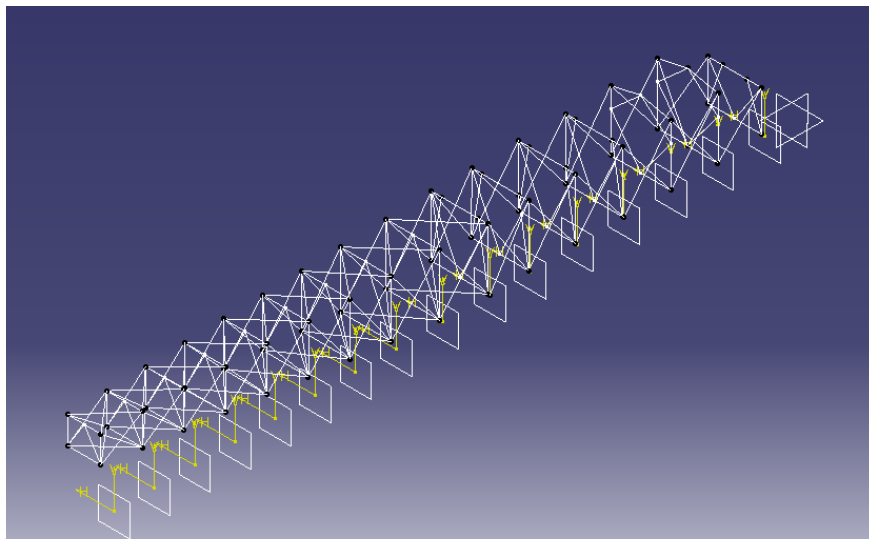


Figura 4.13.- Superficies tubulares del fuselaje

Las superficies han sido generadas en el módulo *Wireframe and Surface*, pues ahora se cambia de módulo y se pasa al *Part Design* con el objetivo de dar espesor a dichas superficies generadas y crear los sólidos.

Como ya se ha comentado anteriormente, hay dos espesores diferentes. Con la orden *Thick Surface* se le da un espesor de 2 mm a los cables y 5 mm a los tubos. Obteniendo el siguiente resultado:

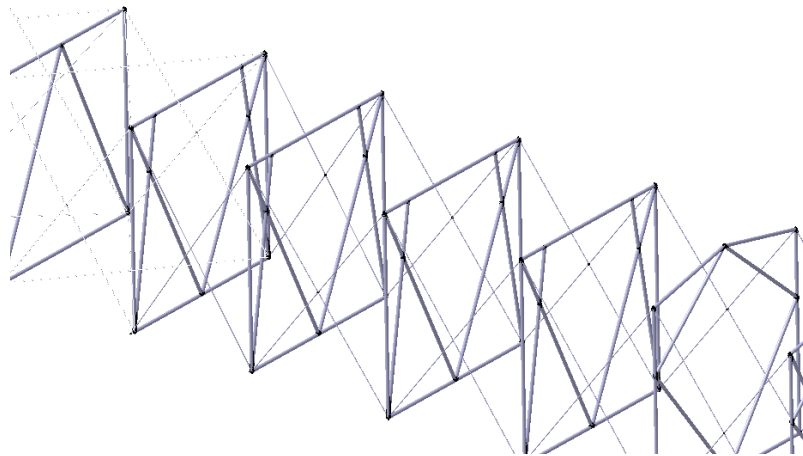


Figura 4.14.- Tubos y cables del fuselaje.

Con los tubos y cables ya con espesor, se crean los largueros rectangulares, para ello se crean secciones rectangulares de 40x50mm en los distintos vértices de las secciones por los que pasan, es decir, en los vértices de los extremos, y en las secciones C y D hay unos largueros rectangulares a la altura de la sección B.

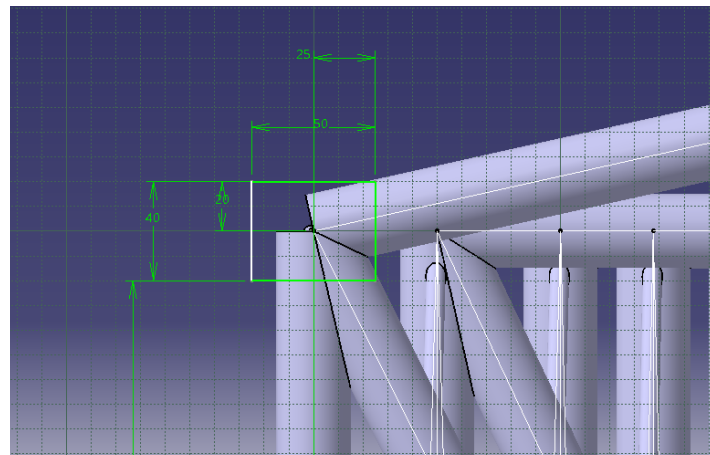


Figura 4.15.- Sketch sección larguero

Con todos los *Sketch* creados, se usa la orden *Multisection Solid* para generar el sólido que une todos los rectángulos creados. Se tiene que hacer uno a uno, excepto en las secciones finales de la parte delantera ya que al medir el mismo ancho y altura van a coincidir unos con otros.

La generación de los largueros de esta forma ayuda a eliminar el problema que se puede intuir de la imagen superior, el hueco que se queda entre los cilindros en las esquinas queda eliminado cuando lo atraviesa el larguero.

En las secciones finales, se hace un *Pad* con la forma de la sección, para que sobre salga un poco y de ese modo usarlo como base para poner el recubrimiento de tela, y además es lo lógico, ya que es normal que el final del larguero sobre salga un poco.

En la siguiente imagen se puede observar cómo queda el “esqueleto” del fuselaje.

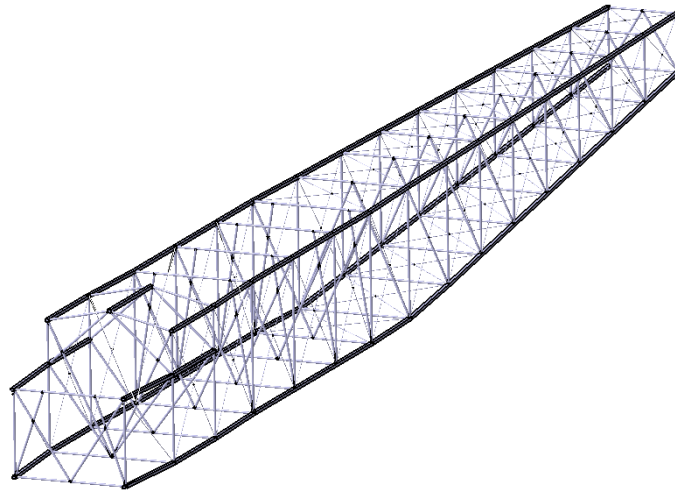


Figura 4.16.- Esqueleto del fuselaje

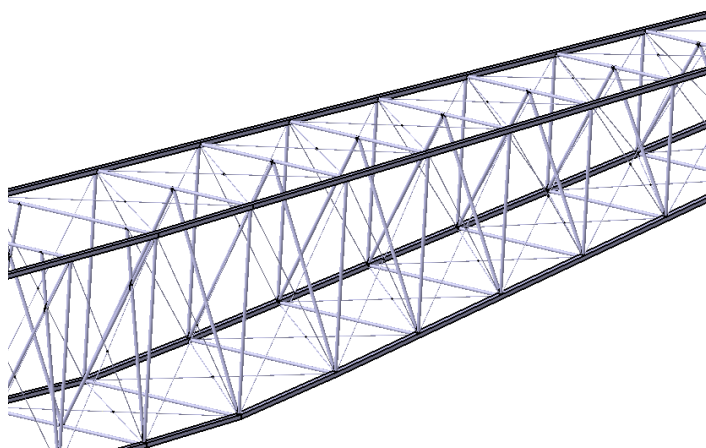


Figura 4.17.- Esqueleto del fuselaje con más detalle

Por último, se le aplica color a la estructura del fuselaje. Se opta por tonos marrones para los largueros, ya que son de madera y un color gris para los tubos de metal.

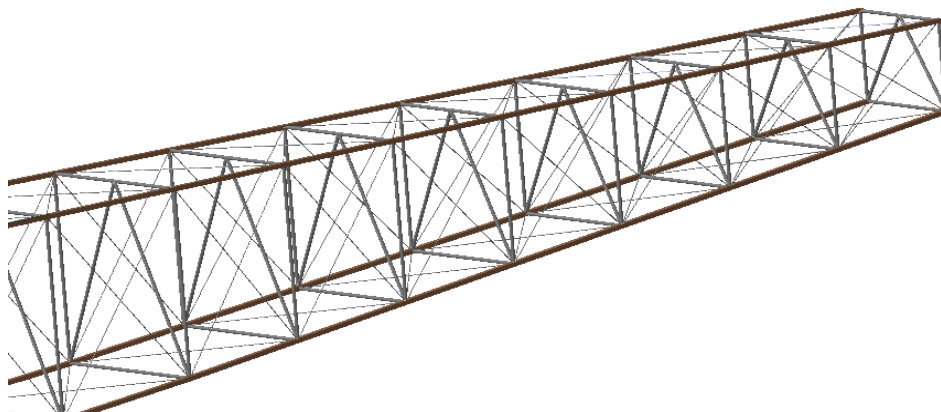


Figura 4.18.- Estructura del fuselaje pintada

Esa es la estructura básica del fuselaje con la que se va a trabajar, y sobre la que se van a añadir el resto de los elementos que lo conforman.

4.2.2 Cubierta del fuselaje

Una vez que ya se tiene generada la estructura del fuselaje, formada por los largueros rectangulares, los tubos y los cables, se empieza a diseñar sobre ella el recubrimiento de esta.

Para la construcción del recubrimiento de esta estructura se usa nuevamente el módulo *Wireframe and Surface Design* en el cual, como ya se ha visto, se van a diseñar las superficies que cubren esta pieza.

En primer lugar, se empieza por la cola, es decir, desde la sección J a la sección Q. Esta cola, según el libro de referencia, estaba forrada de tela, este detalle implica que el espesor de la superficie era muy pequeño.

Para la realización de la superficie que cubre la cola, se opta por la opción más sencilla, además gracias a los largueros rectangulares que recorren toda la estructura del avión hace que sea más fácil. La opción más sencilla es usar la orden *Multisection Surface*, la cual se ejecuta, seleccionando los extremos más alejados de los largueros enfrentados, y así la cubre en su totalidad. Con la superficie creada, se le da espesor con la orden *Thick Surface*, en el módulo *Part Design*.

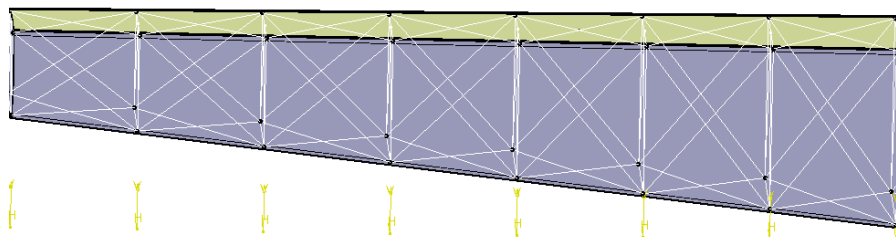


Figura 4.19.- Superficie de la cola

Pues de ese modo, se ejecuta en los cuatro lados que conforman la cola.

Seguidamente, se crean las superficies en la parte restante del avión, lo cual es un proceso algo más complejo que el anterior, debido a que las secciones ya no son tan uniformes.

Primeramente, se empieza por las paredes de la parte central, ya que esta parte se realiza igual que la anterior. El suelo también se hace de igual forma, uniendo los extremos más alejados de los largueros rectangulares.

Tras hacer las superficies sencillas, comienzan las complicaciones. La primera de ella es el “tejado” de la parte central, el cual es curvo, y va desde la sección C hasta la H. Para esto, se realizan varios *Sketch* a lo largo del fuselaje, con la forma del tejado, y se unen usando la opción *Multisection Surface*, los extremos del tejado los cuales quedan abiertos, se tapan usando *Fill*.

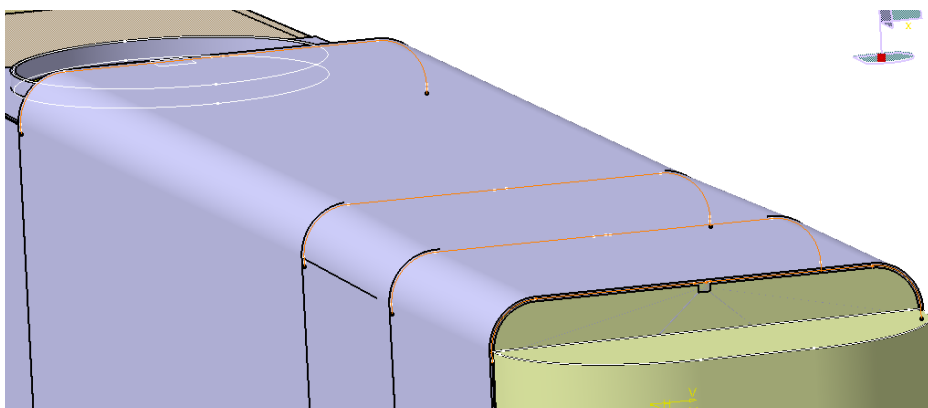


Figura 4.20.- Superficie del tejado

Como se puede ver en la imagen, el tejado ya tiene dado el espesor, y se aprecia con claridad, tanto los *Sketch* que se han hecho para hacer el *Multisection* como la superficie (aun sin espesor) que aparece al aplicar la orden *Fill* sobre el extremo de la cubierta.

Aún siguen quedando, dos partes del fuselaje, que con superficies no se hacen directamente. Estas son, la punta del avión, y la cabina de este, ambas son redondeadas.

Para ambas, se emplea un procedimiento similar, que consiste en realizar unos *Sketch* (en el mismo en diferentes alturas) con la forma deseada, una curva, tanto para la punta como para la cabina. Y al igual que en los otros casos, se usa *Multisection Surface*, y para cerrar los huecos que quedan entre las superficies curvas y las paredes se usa *Fill*.

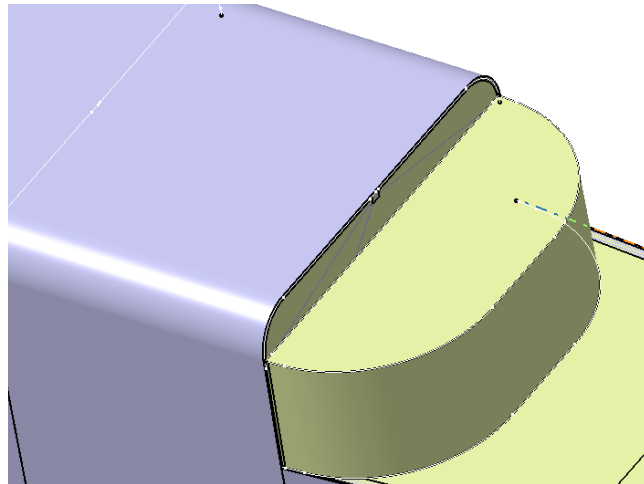


Figura 4.21.- Superficie de la cabina

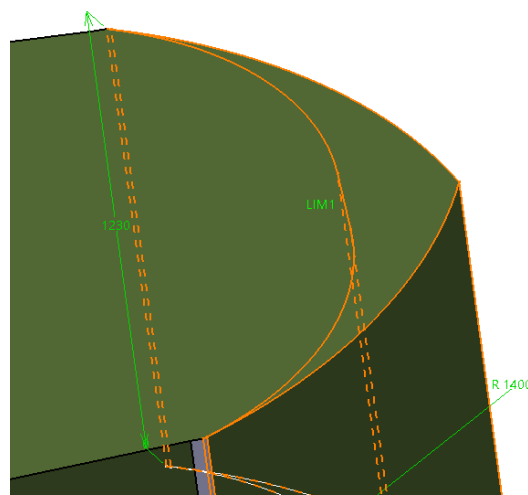


Figura 4.22.- Pad de la punta

Cabe destacar dos problemas que surgen al realizar este procedimiento;

El primero de ellos es la coincidencia con la superficie que cubre de las secciones B a la C, y la superficie de la cabina, ya que estas deberían cortarse, y no haber superficie adelante de la superficie curva de la cabina. Esto se soluciona con la orden *Trim*, la cual corta las superficies, obteniendo la deseada.

El segundo problema es el hueco que queda entre la cabina y el 'tejado', que con superficies es complicado de modelar. Este problema se soluciona creando un sólido sobre ese cuerpo. Además, aparte de ser más fácil de modelar, tiene lógica que sea más grueso, ya que va sobre los pilotos y así evita que sufran más daño si son

atacados. El sólido se crea realizando un *Sketch* con la forma de la cabina y luego se le aplica un *Pad* con la altura del tejado. Para que tenga la misma forma del tejado, con la orden *Edge* se le da un radio de curvatura a los bordes, con el radio que tienen los extremos del tejado, así de este modo coinciden.

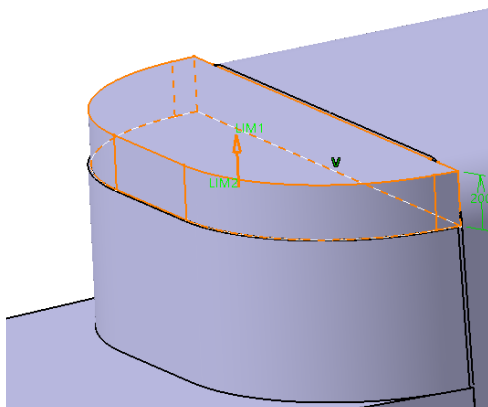


Figura 4.23.- Techo de la cabina

4.2.3 Detalles del fuselaje

Una vez se tiene la base del fuselaje, se pasa a la realización del resto de elementos que de él forman parte, y los detalles que tiene.

Uno de los detalles más característicos del avión, son los orificios circulares que posee la aeronave para llevar material armamentístico. Estos huecos están situados en la punta, el de menor diámetro, y luego el otro de mayor diámetro entre la sección H e I.



Figura 4.24.-Dibujo del Zeppelin-Staaken R.VI

En la siguiente imagen, a pesar de ser un dibujo, se puede apreciar los dos orificios cilíndricos comentados. Se ha añadido esta imagen ya que se ve mejor los dos huecos que en otras de la época.

La ejecución ha sido diferente para ambos cilindros. Esto se debe a que el trasero se hizo a la vez que las superficies y el delantero, se realizaron unas modificaciones en la punta del avión, y se hizo más tarde.

Para el cilindro trasero se realiza un *Sketch* sobre la superficie y otro más arriba, en un nuevo plano que se define a 100mm sobre la superficie. El *Sketch* es una circunferencia de 1300mm. Luego con la opción *Multisection Surface* y luego con la opción *Trim* se elimina la superficie del interior del cilindro. Por último, se le da espesor.

Luego, el cilindro delantero se hace en el módulo *Part Design*, para ello se hace un *Sketch* consistente en dos circunferencias concéntricas de 700mm y 710mm, para luego aplicarle un *Pad* de 100mm. Previamente usando la circunferencia interior se realiza un *Pocket*, para hacer el hueco en la punta del avión.

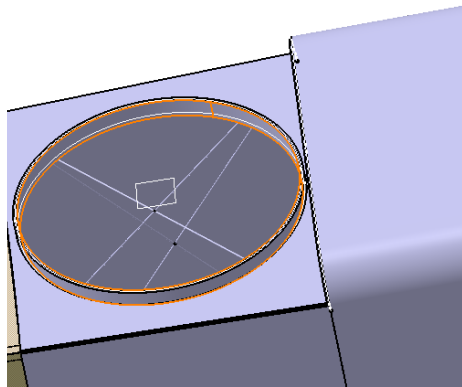


Figura 4.25.- Hueco cilíndrico trasero

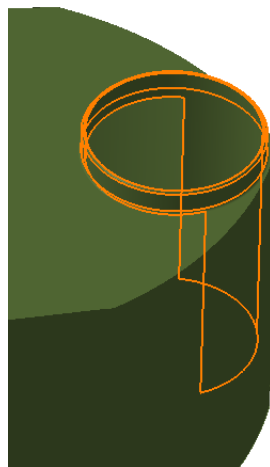


Figura 4.26.- Hueco cilíndrico delantero

Otro detalle muy característico de esta aeronave son sus ventanas. En función del modelo tenía unas ventanas u otras, pero más o menos todas eran similares. Al igual que en muchas otras ocasiones, no se dispone de ninguna información al respecto de las ventanas, solamente información visual obtenida de las imágenes del libro de referencia, y gracias a algunos planos, se puede escalar un poco para hacerlas lo más similares posibles.



Figura 4.27.- Foto de las ventanas del avión.

Se ve claramente como lo conforman tres ventanas a ambos lados y otras tres curvas y de menos tamaño en la parte frontal, es decir, un total de nueve ventanas. Además, en la parte superior de la cabina también cuenta con dos ventanas, en el techo.

Las ventanas se hacen de manera sencilla, se realiza un *Sketch* de forma rectangular (la forma que tienen las ventanas) sobre la superficie de la cabina, y luego se ejecuta la orden *Pocket* y se hace un hueco. No obstante, la superficie sigue quedando al realizar el *Pocket* ya que una vez que estas se crean no se pueden cortar, por lo tanto, le damos a *Hide*.

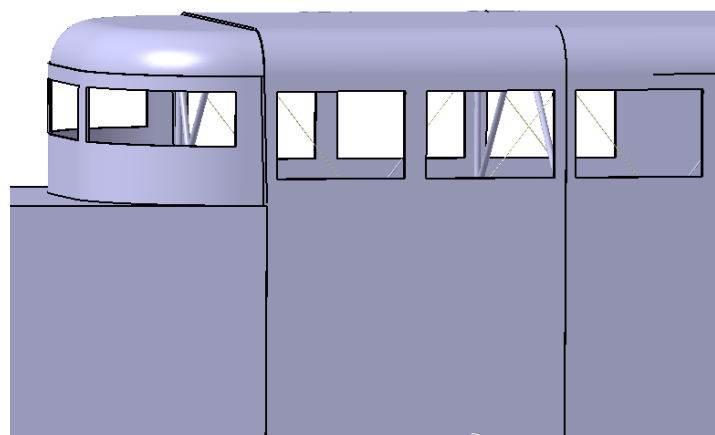


Figura 4.28.- Ventanas del fuselaje

También es interesante comentar respecto al fuselaje, los “pequeños” *Pad* que se han realizado para que la superficie coincida exactamente, es decir, en algunos extremos de la superficie esta se quedaba corta, y salía un escalón. Esto es debido al orden en el que se les daba espesor a los distintos paneles.

Para solucionar este conflicto, se ha optado por realizar *Sketch* con la forma a “rellenar” y darle *Pad*, para así eliminar ese hueco.

Algunos “huecos” también se han solucionado con las órdenes de *Wireframe and Surface Design* con las herramientas *Fill* y *Multisection Surface*. Ya que, al generar las superficies, sobre todo en los cambios de curvatura se generaban huecos en estas, y de ese modo se solucionan.

En el interior del fuselaje, en la parte central se ha realizado el diseño de los tanques de combustible. De estos se disponía de imágenes y aparecen en algún plano donde están situados aproximadamente. Además, el libro de referencia aporta información descriptiva a cerca de ellos.

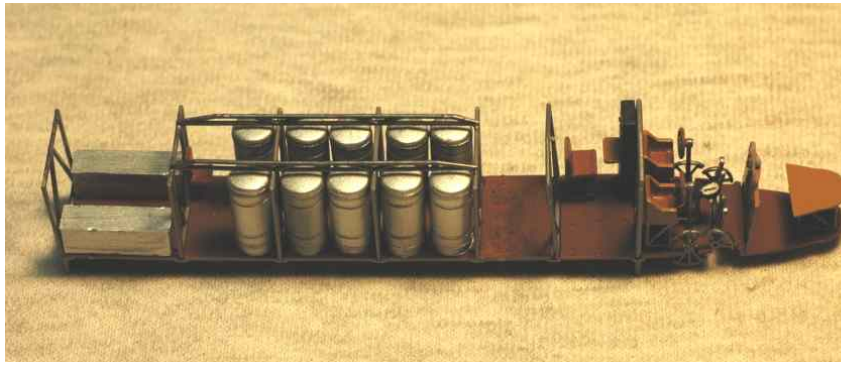


Figura 4.29.-Foto de la maqueta del interior del fuselaje

El libro dice que los tanques de combustible estaban dispuestos en dos líneas, paralelos unos a otros y eran ocho o diez, en función del combustible necesario para la operación. Estaban situados en la parte central del fuselaje. Esto coincide con lo presentado en la imagen de la maqueta del interior del fuselaje.

El dato que proporciona más interesante y que resulta de mucha utilidad es la capacidad máxima de combustible de estos. La misión que más combustible llevaba, cargaba sobre 3200 litros, este dato nos permite hacer una recreación con bastante exactitud de aquellos tanques.

Sabiendo que el ancho del fuselaje es de 1.80 metros en la parte en la que se sitúan los tanques, y que para que pase una persona de forma cómoda entre ellos, tiene que haber entre 60 o 70 centímetros. Se puede realizar un sencillo cálculo:

$$\frac{3200 \text{ litros}}{10 \text{ tanques}} = 320 \text{ litros/tanque}$$

Esto lleva a que unas dimensiones adecuadas para que tenga esa capacidad son las siguientes:

$$\text{Radio del tanque} = 25\text{cm}$$

$$\text{Altura del tanque} = 160 \text{ cm}$$

Sin embargo, como los tanques no irían al completo 100%, y para seguir poniendo unas dimensiones "redondas" se opta por realizarlos de:

$$\text{Radio del tanque} = 30\text{cm}$$

$$\text{Altura del tanque} = 140 \text{ cm}$$

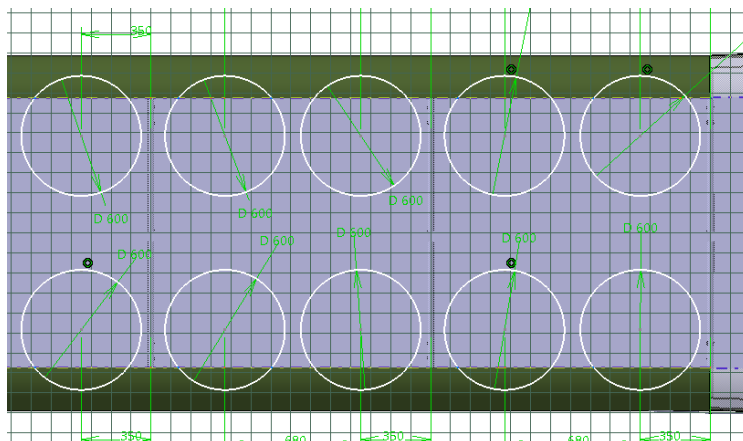


Figura 4.30.- Sketch tanques de combustible

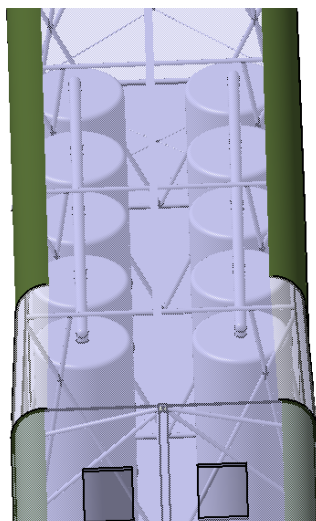


Figura 4.31.- Tanques de combustible

El diseño de la parte interna cabina y los mandos de control, en vez de hacerlo sobre el mismo fuselaje se optan por realizarlo en un *Part* aparte, ya que al estar todo el fuselaje es complicado porque se tratan de piezas más pequeñas.

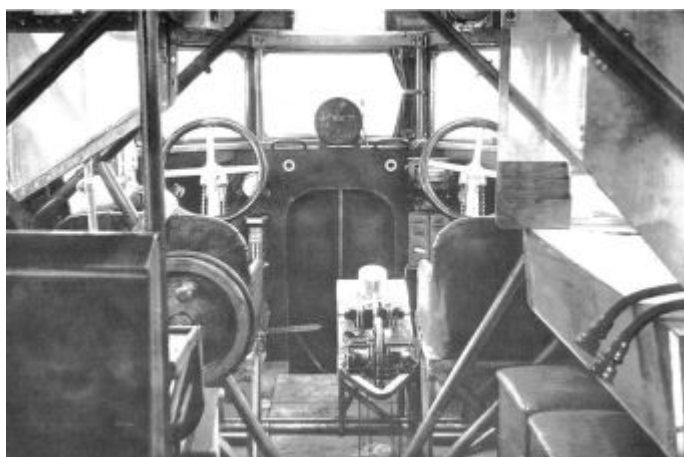


Figura 4.32.- Interior de la cabina

Para ello lo primero que se hace es medir el espacio que debe ocupar en la cabina los elementos que se van a diseñar. Con esto se hace un “suelo” de espesor mínimo que lo usaremos como base para sobre el colocar todos los elementos y de este modo que a la hora de añadirlo al *Product* sea mucho más sencillo.

Una vez tenemos la base, se crea un *Skech* en la punta curva de la base que simula la parte delantera del interior de la cabina, y se le aplica un *Pad* con una medida similar a la altura de la punta del avión.

Con respecto a los asientos de cabina, no se dispone de planos (ni acotados, ni sin acotar), simplemente hay imágenes en donde no hay una visión completa de estos. Sin embargo, los asientos no son una pieza fundamental del avión, y se pueden generar con conocimientos básicos, ya que, a partir del tamaño medio de una persona, el ancho de la cabina, y la distribución visual de esta, se puede intuir las dimensiones de este.

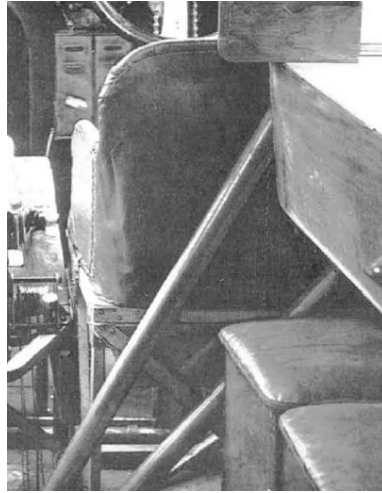


Figura 4.33.-Asiento de los Pilotos

Como se puede apreciar, el asiento es una estructura básica de respaldo, base y apoya brazos (posiblemente una sola pieza de madera), la cual está cubierta por tela o piel. Con una base cuadrada en forma de celosía.

Por lo tanto, el diseño en Catia es bastante simple.

Se crea un cubo de 50cm x 50cm el cual será la base del asiento. Sobre este, para crear los huecos se hacen en dos caras contiguas dos *Sketch* que se usaran para hacer un *Pocket* y simular esa especie de "celosía". Luego sobre esta base se hace un nuevo cubo en el que se le hacen los *Pockets* necesarios, y redondeos en los extremos para que simule el asiento.

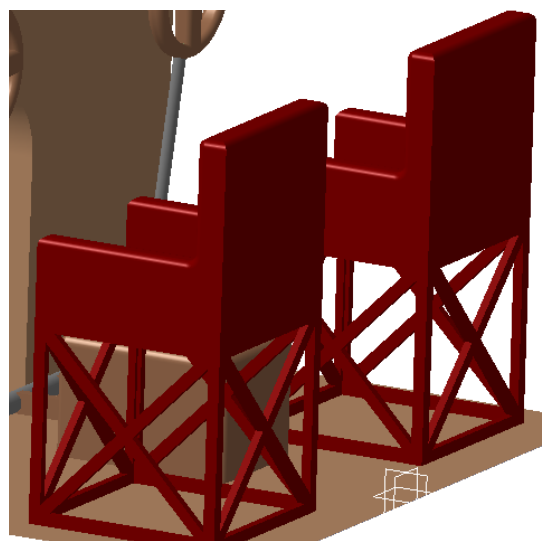


Figura 4.34.-Asientos de la cabina

Al ser todo un mismo *Part* no se puede aplicar materiales diferenciados, por lo tanto, se les aplican distintos colores a las piezas para así diferenciarlas y que se ajusten en mayor medida a la realidad.

Luego para los dos asientos restantes se aplica simetría respecto a los ejes correspondientes y de este modo se obtienen todos los asientos del avión.

El libro de referencia da una serie de explicaciones al respecto de la cabina. Comenta que el R.VI disponía de dos volantes tipo automóvil, como se puede ver claramente en la imagen. También en la especie de “caja de cambios” tenía el botón de encendido maestro, el cual estaba cubierto y se encontraba detrás de los aceleradores.

Sobre la barra de metal, rasante al suelo se puede intuir que se dispondrían sobre ella los pedales para controlar la aeronave, los cuales irían unidos mediante cables de acero, a la rueda que vemos sobre la misma superficie que el botón de encendido maestro.

Además, en la imagen se ve algunos indicadores, que podrían ser altímetros, una brújula para la navegación, un velocímetro, un medidor de temperatura de los motores, un reloj o el elemento más innovador que llevaba este tipo de aviones, el horizonte artificial, el cual ayudaba a medir el ángulo de alabeo de la aeronave. Todos los indicadores mencionados estaban en este avión.

Para la realización de la base del panel de mandos, se ha tomado como referencia el ancho de la estructura de acero y el largo de la sección en la que se encuentra la cabina del piloto. La base es de madera, e incluye los orificios necesarios para insertar los distintos elementos mencionados.

No obstante, a pesar de disponer de esta información, el modelado va a ser simplificado ya que incluir los cables y ruedas sería demasiado elaborado.

Para crear los volantes se realiza en primer lugar una barra sobre la que estos van apoyados y sobre esta un disco. Al disco se le hacen 4 huecos y se le da un radio elevado de redondeo, obteniendo de este modo un volante similar al de las imágenes. Por último, se le aplica un color al igual que el resto de piezas de la cabina, y se le hace simetría al primero para obtener el segundo



Figura 4.35.- Volantes de la cabina

También se han hecho algunos detalles para que aparente más ser una cabina. Por ejemplo, se ha realizado un cajón con botones, el cual se puede apreciar en alguna fotografía de la cabina del avión y en el que esta el botón de encendido maestro, del que el libro habla.



Figura 4.36.- Cajón con botones de la cabina.

Ya con todas las piezas creadas sobre la base, se le aplican colores a las partes que no tienen y en el Product, se ensambla al resto del fuselaje con las constraints correspondientes. El resultado es el siguiente:

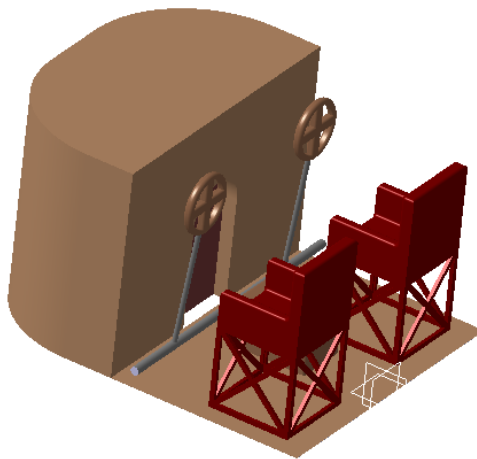


Figura 4.37.- Detalles del interior de la cabina.

4.3 Las Alas

En este apartado se presentan las dos alas de la aeronave. Estas son una de las partes más características del avión debido a su gran tamaño, ya que tienen sobre 42 metros de envergadura. Otra característica importante es que las alas son dobles, son muy parecidas, pero no iguales.

A continuación, se explican las dos alas por separado.

4.3.1 Ala superior

El primer paso para hacer el ala es hacer su estructura.

Para la correcta realización de la estructura alar, se han tenido en cuenta los planos de los que se disponían, y con ellos aplicando una escala se han podido obtener las medidas del ala de la forma más correcta posible.

Además, el libro de referencia incluye algunas imágenes que ayudan a clarificar como era la estructura del ala. En la imagen que se añade a continuación se puede ver cómo eran las costillas desnudas del avión en pleno proceso de fabricación.

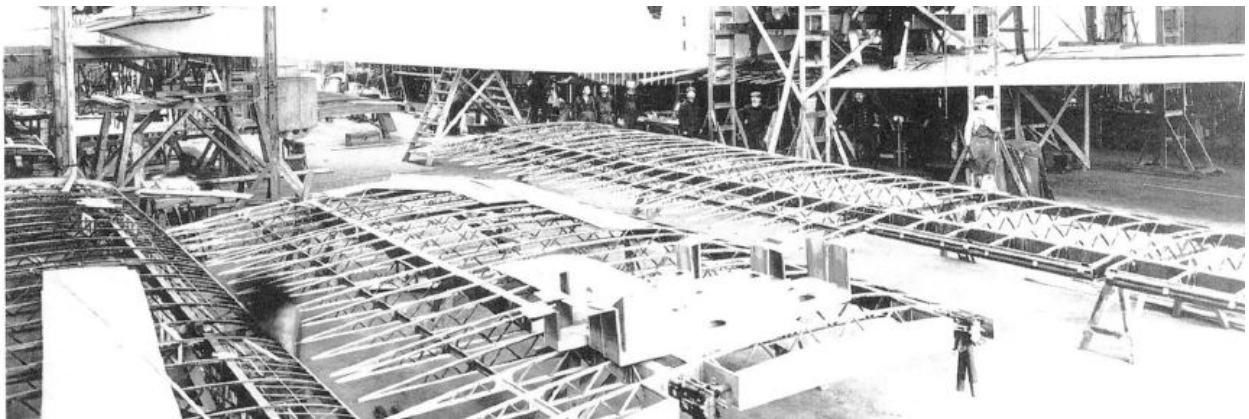


Figura 4.38.- Fabricación de la estructura alar

Otra imagen de la que se dispone la cual es muy interesante, es un esquema hecho a mano de la costilla del ala. Este da gran información acerca de cómo es la forma de esta y sus características.

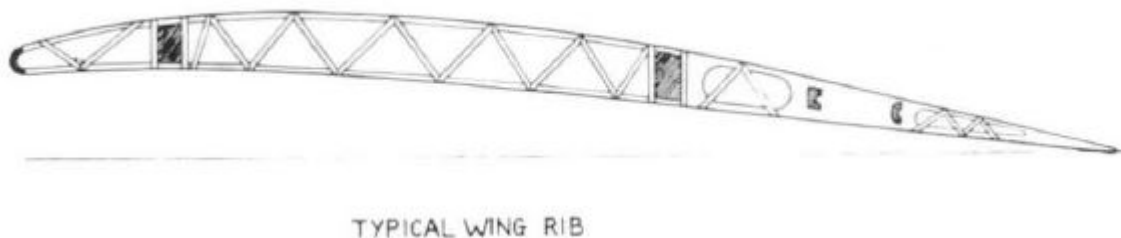


Figura 4.39.- Dibujo perfil del ala

Otro dato, que se extrae del libro y el cual es muy útil para la realización del ala, es la medida de la cuerda raíz y punta.

Cuerda	Longitud (ft)	Longitud (m)
Interior	15.1	4.6
Exterior	11.1	3.6

Tabla 4-1.- Medidas de los perfiles del ala

Antes de pasar al modelado en Catia, se ha buscado información acerca de distintos perfiles, registrados en una página web, para ver cual se asemeja al utilizado en esta aeronave. Al ser una aeronave tan antigua, como es lógico su perfil no tiene ningún nombre distintivo ya que no se trata de un NACA, por ejemplo. Sin embargo, al filtrar por el nombre Staaken, aparecen varios perfiles, y uno de ellos se asemeja bastante al del avión (ya que la página además de los puntos proporciona una imagen de este).

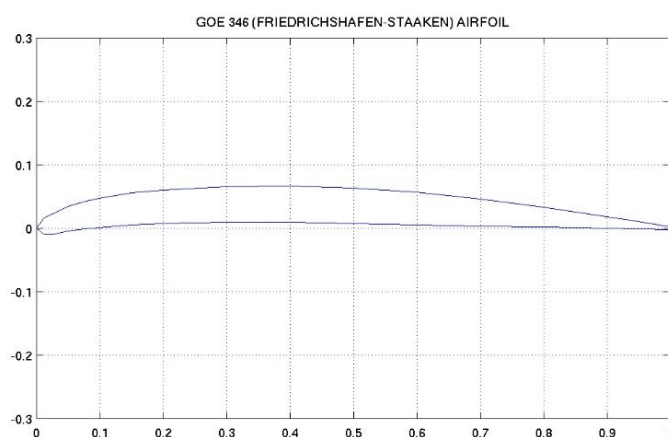


Figura 4.40.-Silueta del perfil elegido.

Se decide tomar el siguiente, por su similitud geométrica. Además, la web proporciona una serie de puntos que son los que conforman la geometría del perfil.

0	0		0	0
0,01236	0,0166		0,01258	-0,00999
0,02481	0,02311		0,02508	-0,00939
0,04972	0,03392		0,05004	-0,00468
0,07465	0,04162		0,07501	-0,00147
0,0996	0,04773		0,09999	0,00133
0,14954	0,05565		0,14995	0,00555
0,19949	0,06067		0,19994	0,00757
0,29945	0,0658		0,29992	0,0096
0,39944	0,06664		0,39992	0,00924
0,49947	0,06317		0,49994	0,00737
0,59953	0,05661		0,59995	0,00551
0,69961	0,04634		0,69997	0,00374
0,79972	0,03358		0,79998	0,00188
0,89985	0,01811		0,9	0,00011
0,94991	0,01033		0,95001	-0,00107
1	0,00175		1	-0,00175

Figura 4.41.- Tabla de puntos del perfil.

Con la lista de puntos, a través de las macros de Excel, se puede abrir la lista de puntos desde Catia, esto significa, que los puntos aparecen en el *Part*, en el cual se está trabajando y se puede realizar un *spline* y tener la forma del perfil.

Una vez que se ha introducido el perfil en Catia, se debe de escalar y poner al tamaño adecuado. En primer lugar, se va a diseñar el perfil del ala en la raíz, el cual mide 4.6 metros. Por lo que usando la función *scale*, se obtiene dicho perfil.

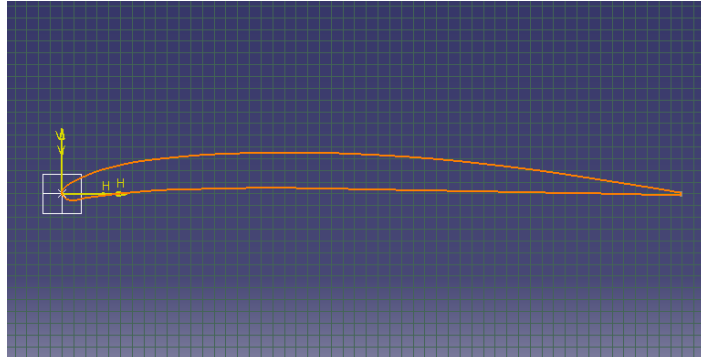


Figura 4.42.- *Sketch* del perfil escalado.

Ese primer perfil, es el que se usará como base para los siguientes. Sobre el perfil se realizan el diseño de las distintas vigas que atraviesan a estos. Como de las vigas, no se tiene información explícita, se han supuesto rectangulares, y gracias a la imagen superior, se ha podido estimar el tamaño, y la posición de estas.

Para el desarrollo del ala superior se ha seguido el siguiente proceso:

En el plano principal, se realiza como ya se ha explicado el contorno del perfil, las vigas, y como este perfil, tiene una celosía, se realizan los triángulos (en distintos *Sketchs* para luego usar el *Multisection Remove*), que simulen dicha celosía.

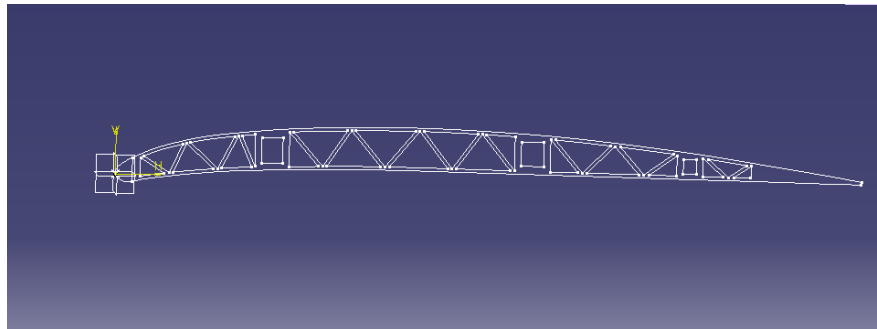


Figura 4.43.- *Sketch* del perfil con huecos y vigas.

Luego, como el ala, antes de comenzar la reducción del perfil (flecha) tiene una parte que es totalmente rectangular, se añade un plano paralelo al anterior, exactamente a 3.4 metros, del otro. Este dato se obtiene de los distintos planos y datos existentes. En ese nuevo plano, se copia el perfil, los triángulos y las vigas, y no haría falta escalarlo ya que es igual que el original, puesto que hasta ese punto el ala es recta y rectangular.

El siguiente paso es crear el perfil de punta, junto con las vigas y los triángulos correspondientes. Para ello se crea un plano a 17.1 metros del último creado, y se realiza un proceso similar al anterior, pero en este caso, como el perfil en la punta mide 3.6 metros, se aplica un factor de escala a los distintos elementos.

El factor de escala a aplicar es el siguiente:

$$\text{Factor de escala} = \frac{3.6}{4.6} = 0.7826$$

Este número se mete en la herramienta *scale*, en la cual además hay que seleccionar un punto desde el cual se aplica la reducción de escala. Este punto es el final del perfil, ya que, si se tiene en cuenta la forma del ala, se puede observar como el ala solo sobre reducción de tamaño en el borde de ataque, mientras que la longitud del perfil con respecto al borde de salida del perfil raíz se mantiene constante.

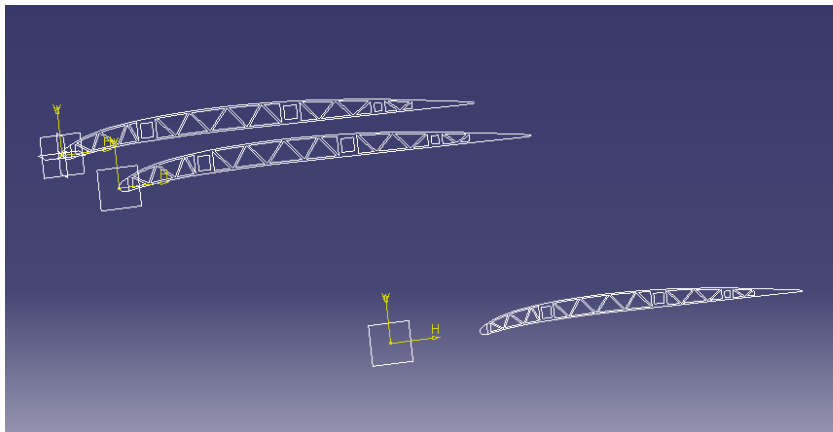


Figura 4.44.- Sketch de los tres perfiles del semi-ala

Una vez se tienen los tres perfiles, con sus respectivas medidas en los tres planos, se usa la orden *Multisection Solid* la cual genera un sólido con la forma de los perfiles, el cual mide 20.5 metros. Como falta hacer la forma de celosía que tienen los perfiles, se utiliza la herramienta, *multisection remove*. Y se obtiene el siguiente resultado.

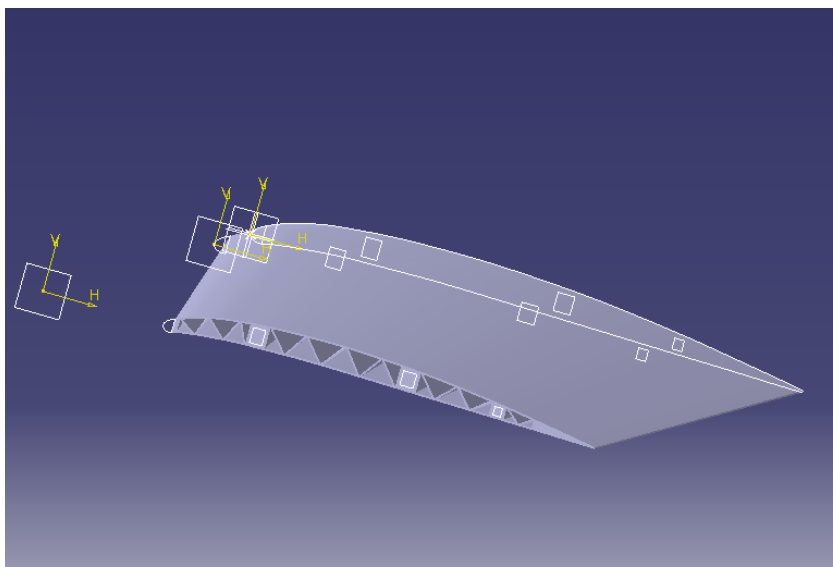


Figura 4.45.- Sólido con huecos del semi-ala superior

Ahora, hay que hacer las costillas. De los planos se obtiene que hay 38 perfiles. Un dato que se va a suponer es el espesor del perfil, el cual será de 25 mm. Para ello, se realiza un *Sketch*, que consiste en una sucesión de rectángulos con una separación entre ellos del espesor del perfil, y un ancho que coincide con la separación entre costillas.

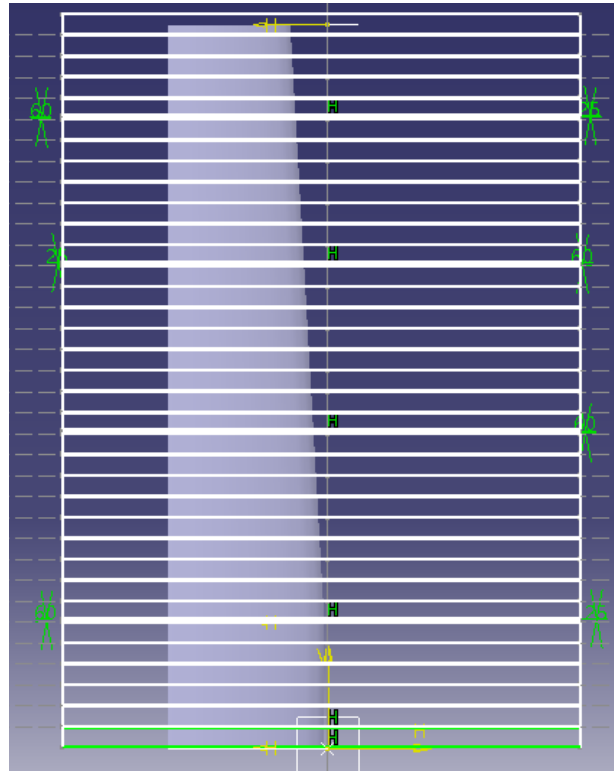


Figura 4.46.- *Sketch* para obtener costillas

Como era un número elevado de rectángulos los necesarios se ha usado la herramienta *translate* que ha permitido realizar las copias con el equiespaciado adecuado. Por último se ejecuta la opción *pocket* y se obtienen las distintas costillas.

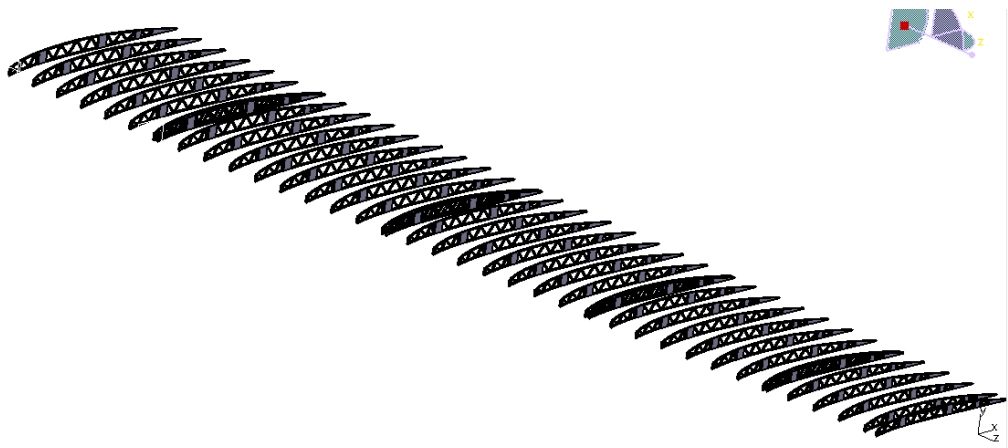


Figura 4.47.-Costillas semi-ala superior.

Ahora queda la creación de las vigas. Este paso es bastante sencillo, ya que una vez que se tienen los *Sketch* de los perfiles en las distintas en las distintas secciones, se usa la opción de *Multi-section Solid* para unirlos y así obtener las vigas.

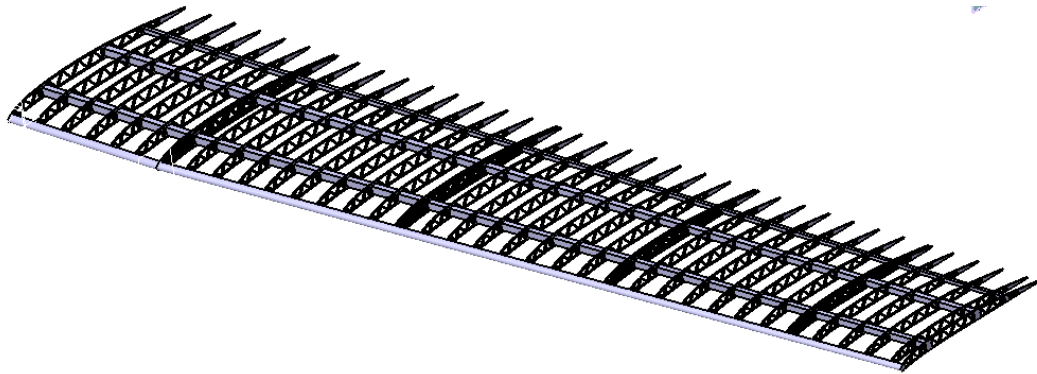


Figura 4.48.- Costillas y vigas semi-ala superior.

Para la obtención completa de la estructura del ala, usamos la herramienta *mirror* y se aplica simetría respecto al plano central, obteniendo de ese modo la estructura alar completa.

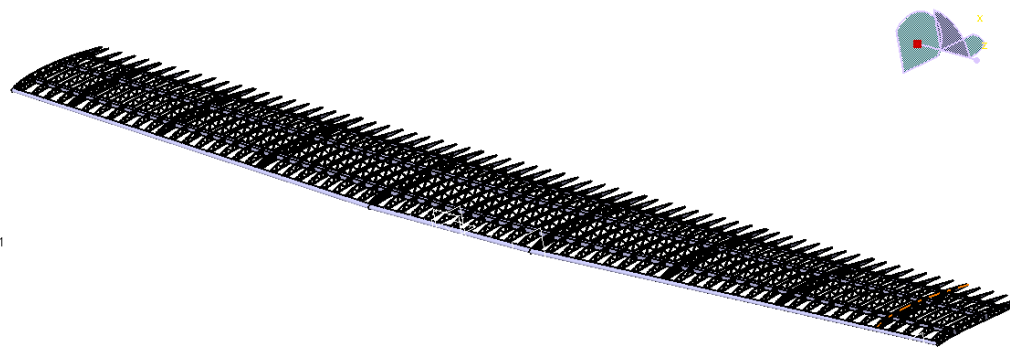


Figura 4.49.-Ala Superior

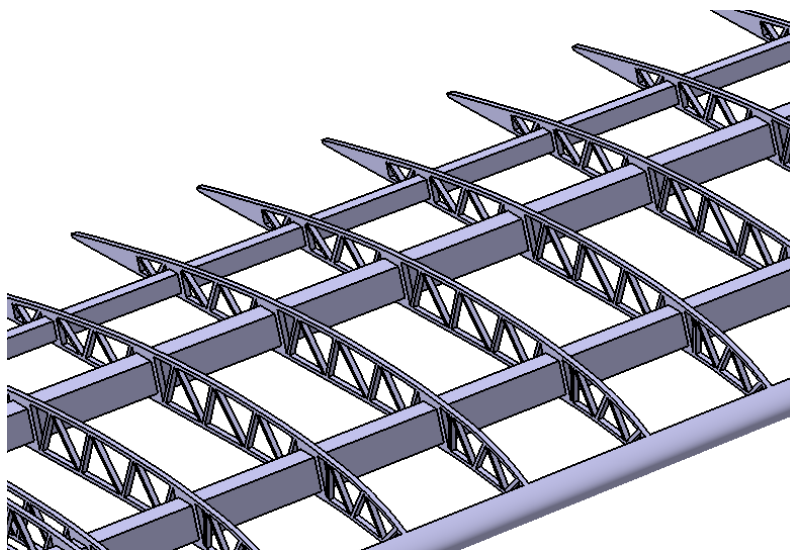


Figura 4.50.-Detalle costillas y viga

De este modo se tendría el ala completa. Sin embargo, la parte central del ala no tiene la forma del perfil sino que es un bloque con extremos curvados, del cual salen las barras que unen la ala superior con el fuselaje. Para realizar esta pieza el método empleado es el siguiente;

Se realiza un *Pocket* en la parte central del ala, con las dimensiones de la pieza rectangular que posteriormente se crea. Una vez que se tiene el *Pocket* se crea el *Sketch* rectangular, al que se le aplica un *Pad* con la altura que tiene el perfil. Seguidamente se le redondean los bordes con la opción *Edge*.

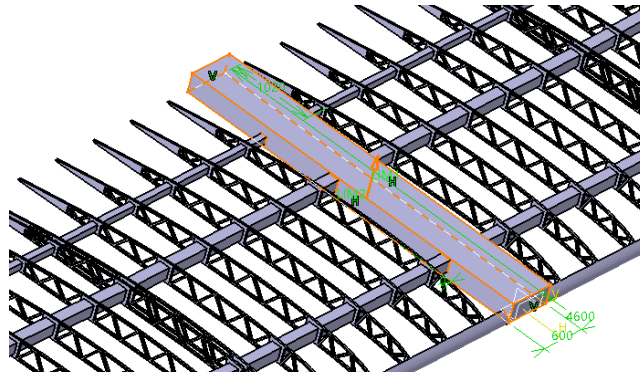


Figura 4.51.- Pieza central del ala

Por último, desde la pieza central, se tienen que hacer las barras que salen del ala a los bordes del tejado del fuselaje. Para hacer estas barras, lo primero es hacer una medición clave, que es el ancho del tejado de la cabina, concretamente interesa una medida un poco menor ya que las barras tienen que estar un poquito antes de llegar al extremo del tejado.

Para hacer estas barras, sobre el tejado se realizan el *Sketch* de cuatro puntos donde se quieren colocar los extremos de las barras, y debajo de la pieza rectangular, también se hacen un *Sketch* de cuatro puntos, que es donde están los otros extremos de las barras.

Con esto ya creado, se pasa al módulo de *Surface and Wireframe Design* y se crea las superficies tubulares con la orden *Sweep* y luego se le dan espesor.

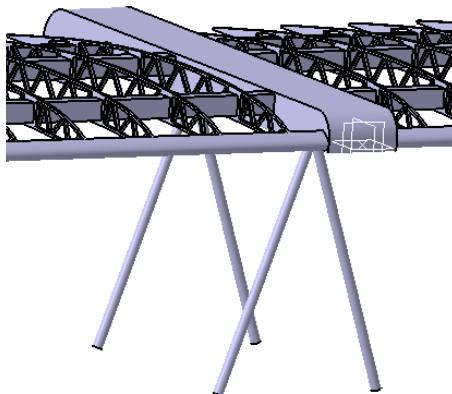


Figura 4.52.- Barras pieza central del ala.

Con la estructura del ala ya completa, se le puede aplicar un color. Como es de madera se opta por tonos marrones, tal y como se aprecia en la siguiente imagen.



Figura 4.53.- Estructura del ala superior pintada

Una vez completada la estructura el alar, hay que diseñar su recubrimiento. El diseño de este es bastante sencillo, ya que solamente hay que usar los *Sketch* de los perfiles que ya se tienen, y aplicandoles un pequeño *Offset* se obtienen de un tamaño ampliado. Pues de ese modo se hacen los *Sketch* en los distintos planos.

Una vez que se tienen los distintos perfiles, en el módulo *Wireframe and Surface Design* usando el *Multisection* creamos la superficie, a la que posteriormente a través de la orden *Thick Surface* le damos espesor. Se pinta del verde del avión y se obtiene el siguiente resultado.



Figura 4.54.- Ala Superior Completa

4.3.2 Ala inferior

La principal diferencia de esta ala con respecto a la superior es que esta no es un solo cuerpo, es decir, entre las dos semi-alas existe una separación igual al ancho del fuselaje. Por lo tanto, el ala de extremo a extremo medirá lo mismo, pero el tamaño real del ala es menor.

Otra diferencia a la hora de su diseño es que esta ala tiene además de estrechamiento, un pequeño diedro positivo, desde la parte que comienza el estrechamiento.

Entonces, la ejecución en Catia para el diseño del ala es muy similar a la anterior.

En primer lugar, se crean los planos donde se añadirán el *Sketch* de los perfiles. En esta ocasión, desde los ejes principales, se hace un plano a 0.9 metros, lo que es, la mitad del ancho del fuselaje, que es donde comenzará la semi-ala. Por lo que se crea un plano a 0.9, otro a 3.4, que es donde comienza el estrechamiento, y otro a 20.5, que es donde se sitúa la punta del ala.

El último plano es más interesante que los anteriores, ya que este tiene una ligera elevación vertical, que es debida al diedro positivo que posee el ala. Este diedro, según el libro de referencia, es de un grado y medio, así que, haciendo un sencillo triángulo, y aplicando el teorema de Pitágoras, se puede saber la altura a la que debe encontrarse, que es 0.4375 metros, respecto la horizontal.

Una vez se tienen los planos, el procedimiento es igual que en el caso anterior. Se ponen el *Sketch* de los perfiles, en su respectiva escala en cada plano. Seguidamente, se hacen los *Sketches* de los huecos del perfil, que harán ese efecto de estructura de celosía como en el ala superior. En este caso el factor de escala sigue siendo el mismo porque las dimensiones de perfil en la punta y en la raíz del ala continúan siendo las mismas.

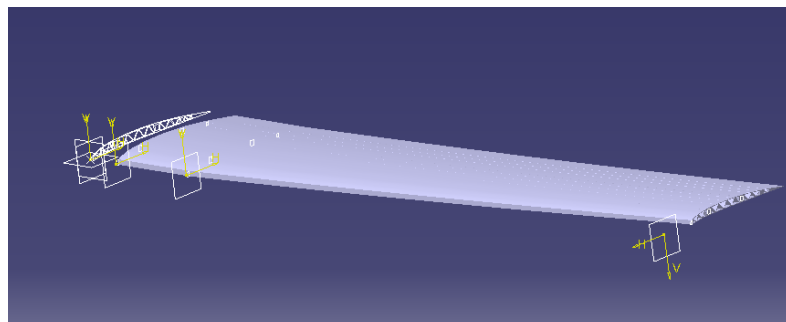


Figura 4.55.- Sólido sin huecos del semi-ala inferior

Una vez se tienen todos los *Sketches*, se usa la herramienta *Multisection Solid* y se realiza el sólido, y luego *Multisection Remove* y se hacen los huecos de los perfiles, al igual que se hizo antes.

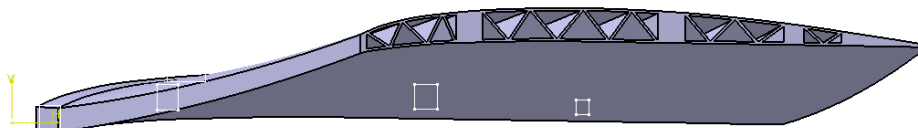


Figura 4.56.- Sólido con huecos

Posteriormente y de la misma manera que en la superior, se hace un *Sketch* formado por una sucesión de

rectángulos con una separación entre ellos del espesor del perfil, 25mm. Para la posterior ejecución de un *Pocket* y de ese modo obtener las costillas deseadas. Esto se hace de tal modo, que la separación entre costillas sea la misma que en el ala superior. Ya que ambas en los esquemas de lo que se disponen aparentan tener la misma densidad de costillas.

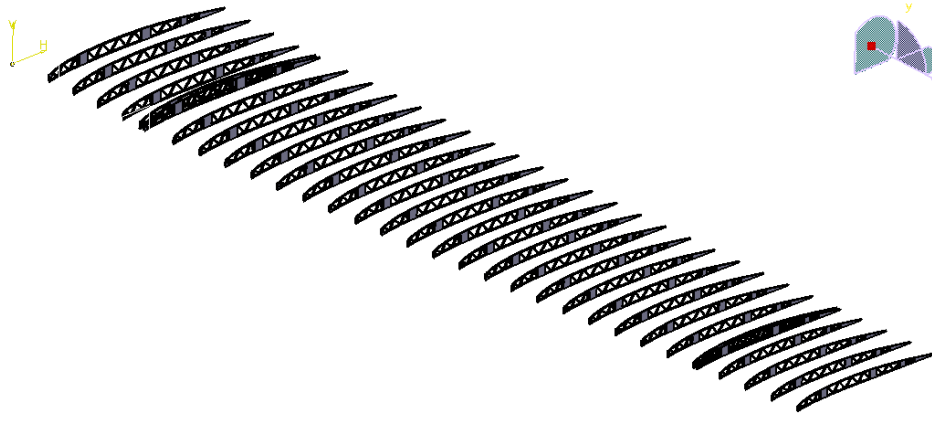


Figura 4.57.- Costillas del semi-ala inferior

Una vez que se tienen las costillas del avión, se lleva a cabo la creación de los largueros del ala. Para ello se usa *Multisection Solid* y se unen los *Sketches* de los distintos perfiles, obteniendo los largueros a lo largo de toda el semi-ala.

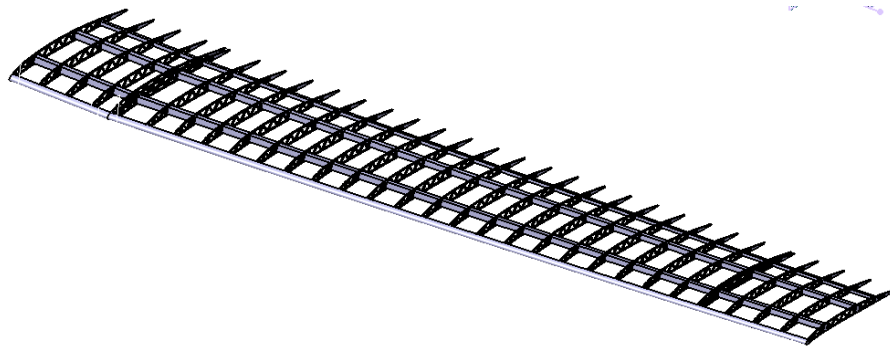


Figura 4.58.- Costillas y vigas semi-ala inferior

Como se muestra en la siguiente imagen en detalle, las costillas tienen el mismo aspecto que en el ala superior.

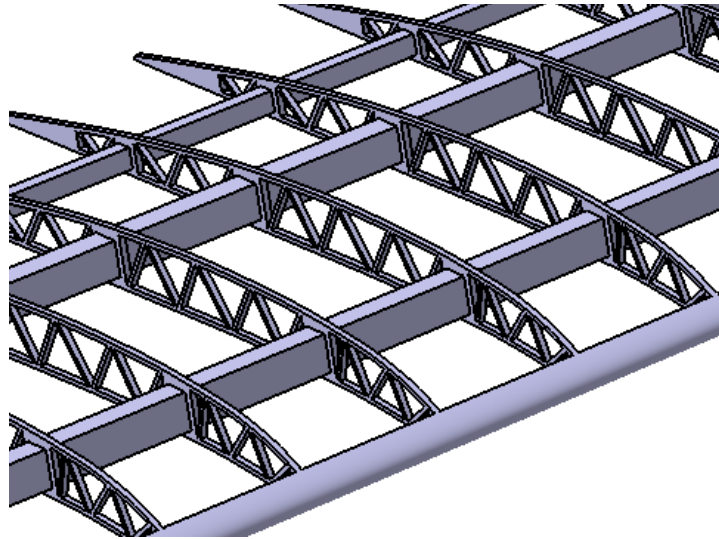


Figura 4.59.- Detalle costillas y viga

Para acabar el ala, se hace una simetría respecto al plano central, usando la herramienta *Mirror*, y de ese modo se obtiene el ala completa.

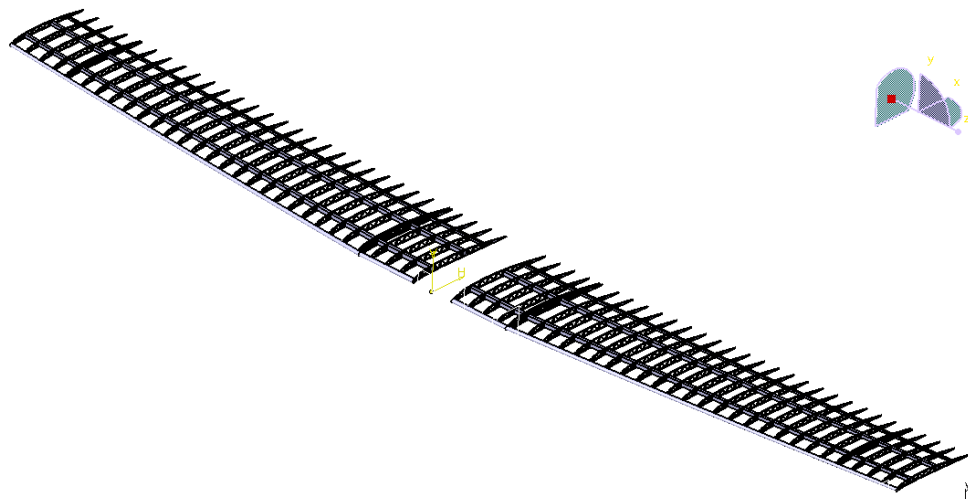


Figura 4.60.- Ala inferior

Al contrario que la superior, esta no necesita de una parte central, ni barras. Con la estructura ya finalizada, se le aplica un color para que simule la madera de la que está compuesta el ala.

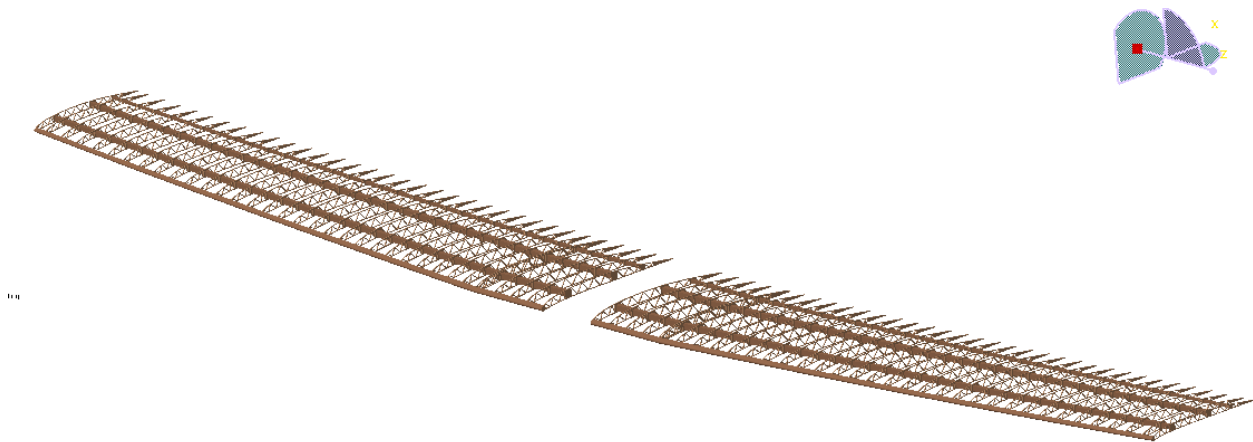


Figura 4.61.- Estructura ala inferior con color

Para hacer el recubrimiento de esta ala la forma de proceder es prácticamente igual que la del ala superior. La única diferencia es que en este caso se ha optado por hacer el *Multisection* en una semi-ala, y luego con la orden *Symmetry* se ha llevado la superficie a la otra semi-ala. Posteriormente se le ha dado espesor y pintado del verde del avión consiguiendo el siguiente resultado.

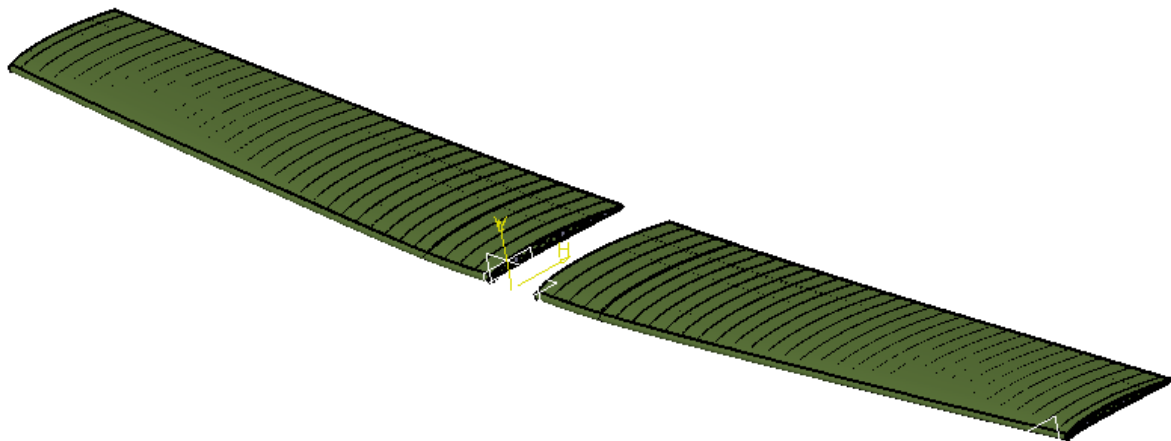


Figura 4.62.- Ala inferior completa

4.3.3 Montantes y cables de acero

Las alas del avión están unidas entre sí a través de puntales de maderas que tienen la función de mantener la estructura y posición de las alas. A parte de la estructura que envolvía la góndola del motor (que también ayudaba a esta función) existían otros tres pares de puntales en cada semi-ala.

Estos puntales iban desde el larguero inferior hasta el superior, y su altura y ancho iban disminuyendo a medida que se acercaba más a la punta del ala, debido a diedro positivo que ala tenía y al estrechamiento de los largueros sobre los que estos estaban apoyados. Concretamente estaban situados en los dos largueros internos.

En la siguiente imagen se puede apreciar el aspecto que estos tenían.



Figura 4.63.-Fotografía de los montantes del ala

Aunque en el puntal tiene una estructura sencilla, su modelaje en Catia no lo es tanto. Para su realización, se ha optado por hacer un *Part* que incluya todos los puntales, para la hora de unir las piezas sea más cómodo.

El primer paso que se da es añadir a un *Product* el ala superior y el ala inferior, y colocarlas como deben ir, ya que son la referencia que hay que seguir para hacer los puntales. En este *Product* se realizan medidas para saber dónde colocar los puntales. Se van a usar las costillas que se pusieron más juntas para colocarlos entre ellas.

A continuación, se crea un nuevo *Part* en donde usando las medidas anteriores se hacen los distintos *Sketch* rectangulares, a los que se le aplica un *Pad* para la creación de las columnas rectangulares.



Figura 4.64.- Puntal rectangular

Ya con el *Part* creado, se añade al *Product* dónde están las alas y se comprueba si están bien colocadas las columnas. Como era evidente, a la primera no salió, pero se hacen las modificaciones necesarias hasta que se ajuste de la forma adecuada. Y así se obtienen los puntales.

Otro elemento, que aparece entre las alas son los cables que soportan las tensiones. Para la creación de estos cables existen varias posibilidades, pero por la que se opta es hacerlos en el mismo *Part* que las vigas, ya que

se van a usar estas para su realización.

El procedimiento seguido consiste básicamente en hacer unas líneas con el comando *Line* que una los distintos vértices de las columnas, de forma que sean cruzadas.

Una vez que se tienen las líneas se pasa al módulo *Wireframe and Surface Design*, en dónde con el comando *Sweep* se crean las superficies con un radio de 2mm. Luego se pasa al módulo *Part Design* para dar espesor a la superficie. Se decide darle un espesor de radio 2 mm.

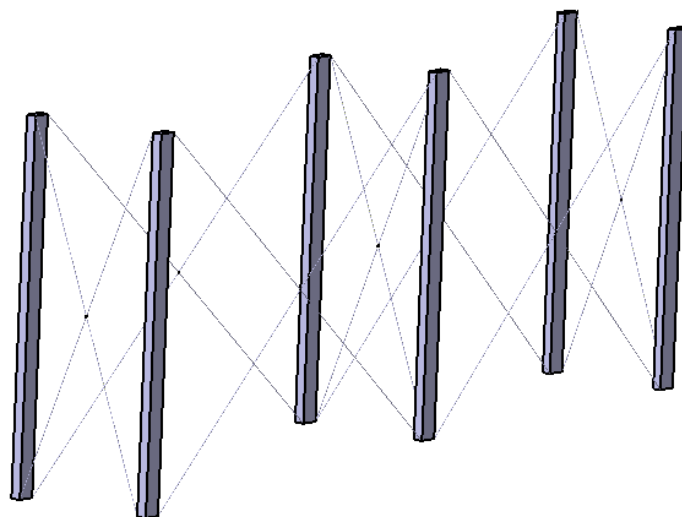


Figura 4.65.- Puntales y cables de acero

De este modo se obtiene esa primera parte de cables de acero y puntantes de alas, se les aplica color. Marron para la madera de los montantes y gris para los cables de acero, y se obtiene el siguiente resultado.

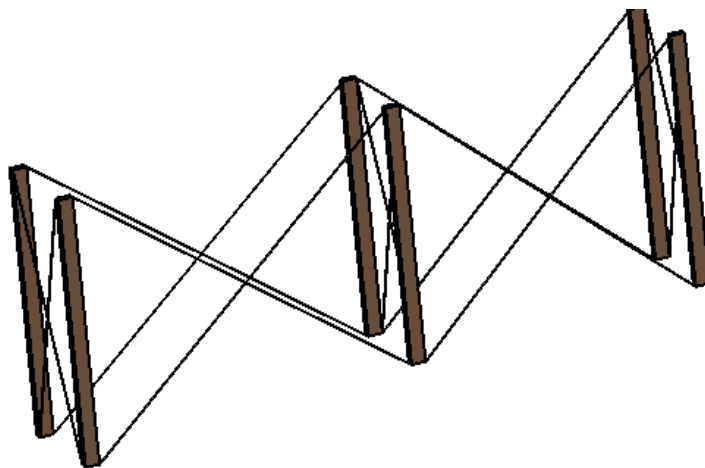


Figura 4.66.- Montantes y cables con color

Observando la última imagen, se puede ver como tiene una gran similitud a la imagen presentada al inicio de esta sección.

4.4 El tren de aterrizaje

El tren de aterrizaje de esta aeronave debe de ser bastante robusto, debido a las dimensiones y peso de esta. Lo componen dos conjuntos de ocho ruedas, situadas debajo de cada motor, y dos ruedas en la punta, de menor diámetro, las cuales sólo se usaban para el aterrizaje para evitar que el morro colisionara con el suelo.

A continuación, se muestran unas imágenes del avión original, tanto del tren debajo de los motores, como de las ruedas delanteras.



Figura 4.67.-Fotografía del tren de aterrizaje principal

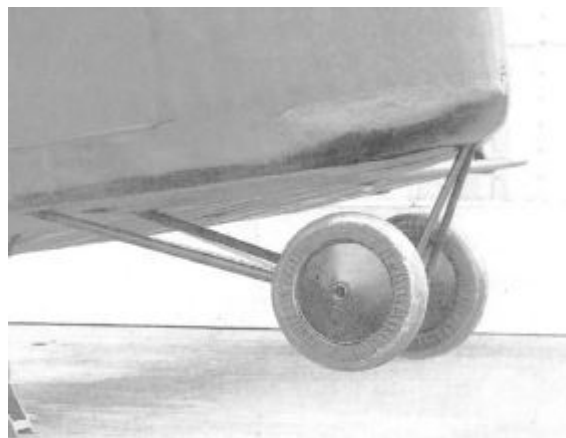


Figura 4.68.- Fotografía del tren de aterrizaje delantero

Para el diseño en Catia de estas piezas, se diferencian varias partes. Se explica la estructura del tren delantero, la del tren principal, y la de las ruedas por separado.

4.4.1 Tren de aterrizaje principal

El tren de aterrizaje principal tiene una estructura bastante curiosa. Esto es así, ya que la misma estructura del tren de aterrizaje, es la encargada de sujetar el motor entre las dos alas.

Para conocer las medidas de esta estructura, se ha usado un plano a papel y se ha aplicado el correspondiente factor de escala, para de ese modo obtener las medidas reales.

Para el diseño en Catia se sigue el siguiente procedimiento;

En primer lugar, se colocan en el mismo *Product* las dos alas, y la góndola de motor, en sus respectivas posiciones, para comprobar que lo que se está haciendo en el *Part* donde se diseña la estructura del tren y la góndola es correcto.

En el *Part*, se hacen los planos necesarios, donde se ponen los puntos que hacen falta para posteriormente unir con líneas, y así tener el *Sketch* de la estructura.

Con el *Sketch* ya listo, y comprobado en el *product* que coincide donde debe estar, se pasa al módulo *Wireframe and Surface Design*, y se sigue el procedimiento habitual para generar las superficies tubulares. Es decir, se usa la orden *Sweep*, y luego cambiando de módulo, se le da un espesor. Se va a suponer que todos los tubos tienen el mismo diámetro, excepto los cables de aceros que forman parte de la estructura, y en el que van las ruedas.

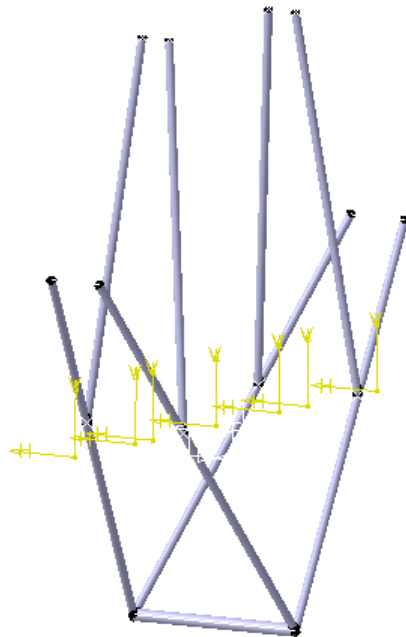


Figura 4.69.- Estructura tubular tren de aterrizaje principal

En la parte superior de este, se hace una plataforma rectangular que va incluida entre dos costillas del ala superior, y es donde va a parar la estructura tubular.

Para hacerla simplemente hay que hacer un *pad* en la parte superior, a un *Sketch* rectangular que tenga las medidas del espacio entre dos costillas.

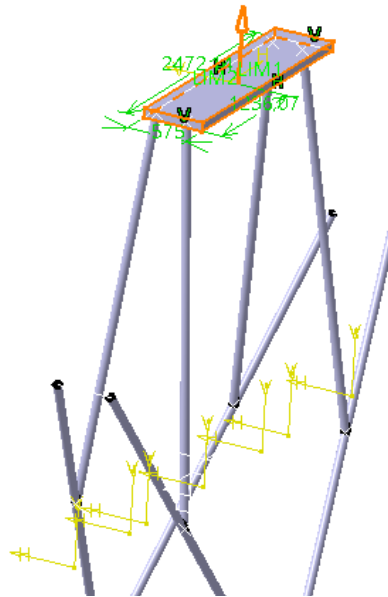


Figura 4.70.- Plataforma superior de la estructura del tren de aterrizaje principal

Por último, este *Part*, también incluye un par de cables de acero que van de la estructura tubular hasta la plataforma central del ala superior, y otro par de cables de acero que van a parar a los montantes del ala. Para el diseño de estos cables, se ha usado el procedimiento de poner las partes en un *Product* y haciendo las medidas correspondientes ir diseñando los cables en el *Part* que incluye el tren de aterrizaje.

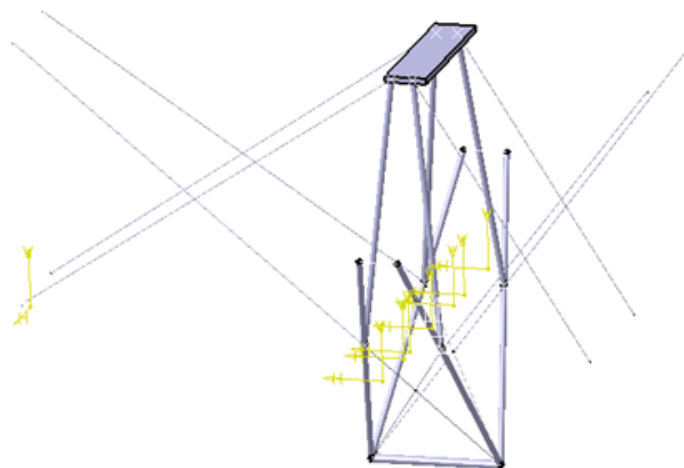


Figura 4.71.- Tren de aterrizaje principal con cables

Con el diseño de la estructura finalizado, y tras comprobar que encaja a la perfección con la góndola y las alas de la aeronave, se le aplica color, quedando la siguiente pieza.

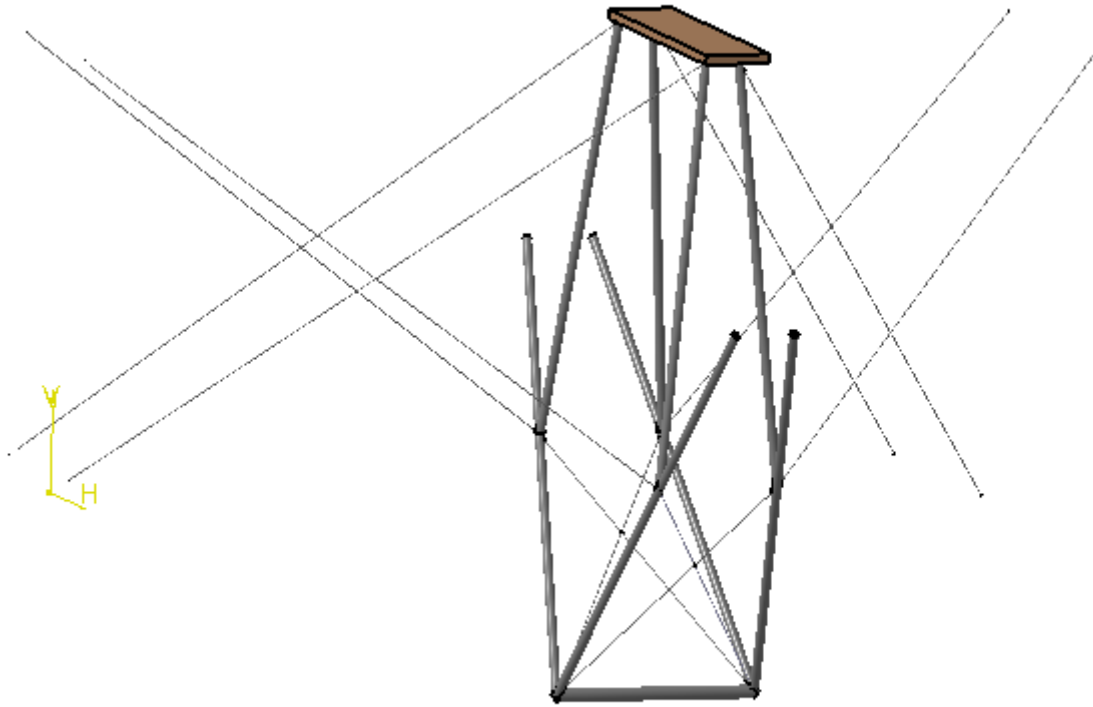


Figura 4.72.- Estructura del tren de aterrizaje principal

4.4.2 Ruedas y llantas

Gracias a los datos visuales que se observan en las primeras fotografías de este apartado y con el conocimiento del diámetro de la rueda, se puede pasar a la realización de su diseño en Catia.

La rueda mide 1.02 metros de diámetro, tal y como indica el libro de referencia.

Pusher propeller diameter, 4.3 m. (14 ft. 1 in.)
Wheel diameter, 1.02 m. (3 ft. 4 in.)

Figura 4.73.- Recorte del libro sobre los datos de la rueda

Para la realización de la rueda, se hacen dos *Bodys* independientes y luego se unirán. Uno de ellos es el neumático y el otro la llanta. Estos son creados en su totalidad en el módulo *Part Design*.

La llanta, se consigue básicamente a partir de tres operaciones. La primera de ellas es un *Multisection Solid*, el cual une dos *Sketch* que son dos circunferencias de distinto diámetro. Luego sobre la de mayor diámetro se realiza otro *Sketch* de una circunferencia y se le aplica un *Pad* de la mitad ancho de la rueda, ya que sobre esta pieza va apoyado el neumático. Por último, se realiza un *Mirror* ya que es una pieza simétrica.

Como las ruedas tienen distintas medidas, se tienen dos llantas distintas:

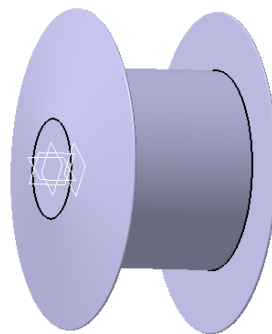


Figura 4.74.- Llanta de la rueda del tren de punta

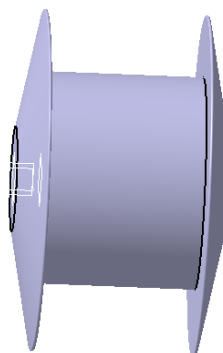


Figura 4.75.- Llanta de la rueda del tren principal

Luego, en la parte central de la llanta se le hace un *Pocket* circular, ya que por ahí pasa la barra que une las ruedas de ambos lados.

Por otro lado, para hacer el neumático se empieza con un *Sketch* de una circunferencia a la que se le aplica un *Pad* con el espesor que tiene el neumático. Luego se le hace un *Pocket* con el diámetro del centro de la llanta, y a los bordes se le da un radio elevado para que adquiriera la forma de neumático.

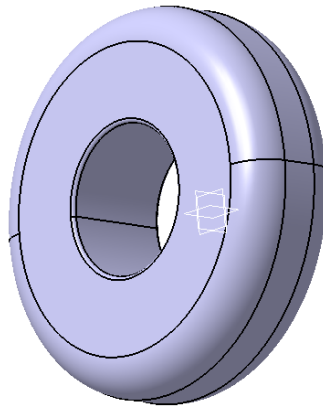


Figura 4.76.- Neumático del tren principal

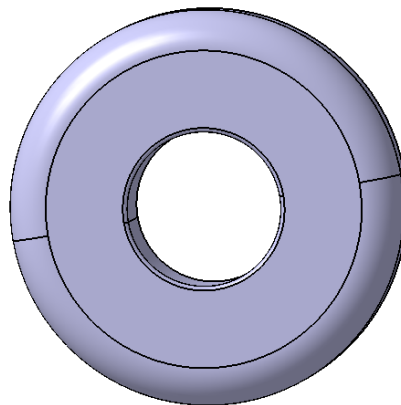


Figura 4.77.- Neumático del tren de punta

Por último, se añade una tabla en la que se incluye un resumen de las medidas de las ruedas.

Medidas	Rueda Pequeña	Rueda Grande
Diámetro Pequeño	0.5m	0.5m
Diámetro Grande	0.75m	0.95m

Tabla 4-2.- Medidas de las ruedas

4.4.3 Tren de aterrizaje de la punta

El tren de aterrizaje de la punta es bastante más simple que el principal. Esto se debe, como ya se ha comentado, a que su objetivo era que el morro del avión no colisionara contra el suelo cuando este aterrizaba.

Con respecto a los datos de este, no se tiene ningún dato explícito. Sin embargo, al ser bastante más simple que el otro, se puede medir sobre los planos a papel de los que se dispone, y aplicar un correcto factor de escala para la obtención de sus medidas.

El diseño de este, se realiza soldado a la misma estructura del fuselaje. Está compuesto por cuatro barras que parten del fuselaje, y luego la que une las ruedas de ambos lados. De las barras que parten del fuselaje, dos de ellas salen del centro de la sección A y las otras dos de los vértices inferiores de la sección D.

Luego el procedimiento para realizar las barras es el mismo que se ha seguido para la estructura tubular del fuselaje. Consiste en crear unas líneas, en el módulo *Wireframe and Surface Design*, se generan superficies cilíndricas con la orden *Sweep* y luego se vuelve al *Part Design* y se le da espesor con la orden *Thick Surface*.

También se hacen unos cables como se ve en la imagen para que soporten las tensiones. Se hacen exactamente igual que los tubos de arriba, pero con diferentes medidas.

Tras haberle dado color y añadirle las ruedas el resultado que se obtiene se muestra en las siguientes imágenes.

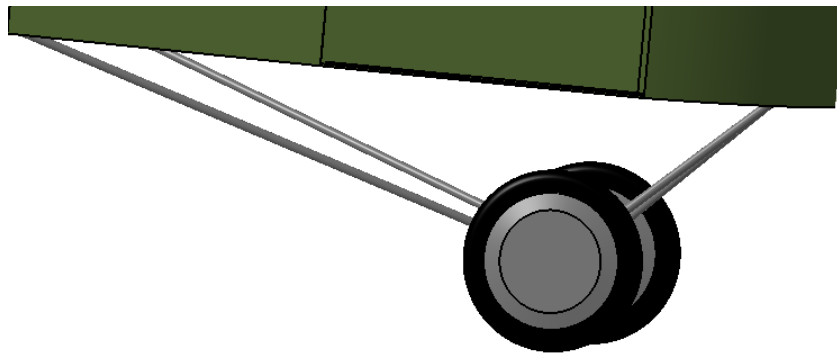


Figura 4.78.- Tren de aterrizaje delantero, vista lateral



Figura 4.79.- Tren de aterrizaje delantero, vista frontal

4.5 El grupo motor

El conjunto del grupo motor de la aeronave se puede dividir en distintas partes según se han creado en Catia. Estas partes son la góndola del motor y las hélices.

Realmente la estructura que sujeta el motor, que es la misma que se usa como estructura de tren de aterrizaje también se podría haber incluido en este apartado, pero se ha tomado la decisión de tratarla en una sección concreta del tren de aterrizaje.

El grupo motor en sí mismo no se modela ya que es muy complejo, y requeriría mucho tiempo.

4.5.1 La góndola

Con respecto a la góndola del motor, no se dispone de datos explícitos de cuanto mide, ni de largo, ni de diámetro. El libro de referencia proporciona información respecto a las partes que tiene, de los materiales y como está construida.

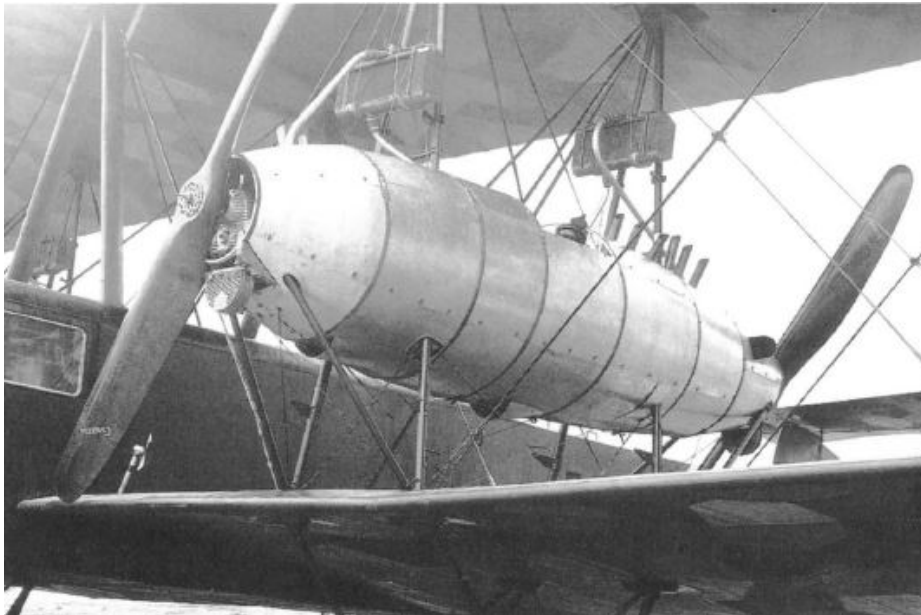


Figura 4.80.-Foto góndola del motor

Para la obtención de algunos datos de medidas, se usan los planos de los que se dispone, y aplicando un correcto factor de escala, se obtienen el largo y el diámetro medio.

Los datos que se obtienen son los siguientes; Como se puede observar en la imagen en la que se ve la góndola del motor, se puede ver como tiene siete secciones, las cuales están separadas por ocho anillos. Se aprecia como los anillos tienen distinto diámetro. Sin embargo, se supone que tienen el mismo espesor y ancho, que es de 30 mm. Para realizar mediciones se ha usado la siguiente imagen, en la que se ha aplicado un factor de escala correspondiente a partir de una medida conocida como el perfil del ala.

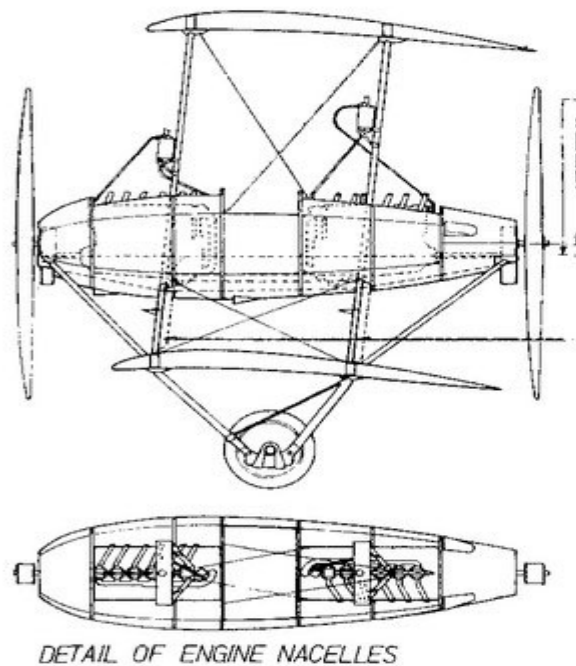


Figura 4.81.- Esquema del motor.

Aplicando el factor de escala al plano, se obtiene que los distintos diámetros de los anillos son los siguientes; El primero mide 623 mm, el segundo 1198 mm, el tercero 1485 mm, el cuarto 1533 mm, el quinto 1485 mm, el sexto 1245 mm, el séptimo 1054 mm y el último lo mismo que el primero.

Por otro lado, se tienen las dimensiones longitudinales. La longitud total del motor es de 5.6 metros (sin contar las hélices). Como se observa en la imagen, la separación entre los anillos no es simétrica. Por lo que al igual que en el caso anterior, se ha aplica un factor de escala y se calcula las separaciones.

Una vez que se tienen recopilado todos los datos, se empieza el diseño en Catia.

En primer lugar, se van a hacer los distintos anillos, todos con un espesor y grosor de 30 mm. Para ello se hacen los distintos planos, con la separación comentada anteriormente. Sobre cada plano se realiza en un *Sketch* una circunferencia con el diámetro correspondiente y otra con 30 mm menos de diámetro que la primera. Una vez se tienen los *Sketch* se le aplica un *Pad* de 30 mm.

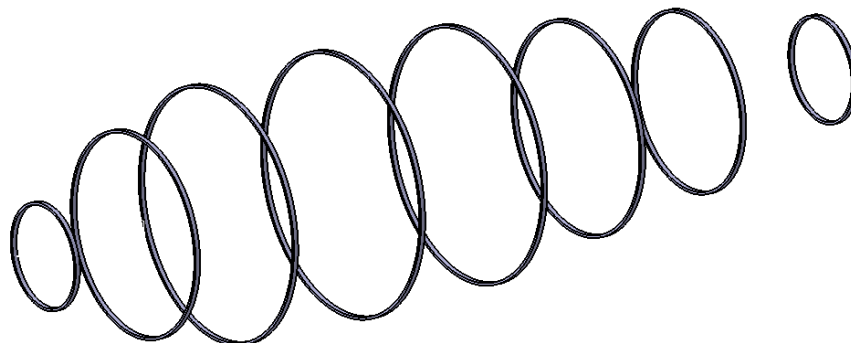


Figura 4.82.- Anillos de la góndola del motor.

Una vez tenemos el esqueleto de la góndola, es necesario hacer las superficies que rellenan los huecos de este. Para ello pasamos al módulo *Wireframe and Surface* y una vez allí, usamos el *Multisection*, para generar las distintas superficies que componen la góndola. Se les da un espesor de 30 mm.

Una vez se tiene la góndola casi al completo, faltan dos acciones más para completarla. Se le añade una tapa a ambos extremos la cual tiene un orificio circular en el centro, por el cual pasa el eje de la hélice que lo une con el motor. La tapa se hace con la orden *Fill* y luego también se le da espesor.

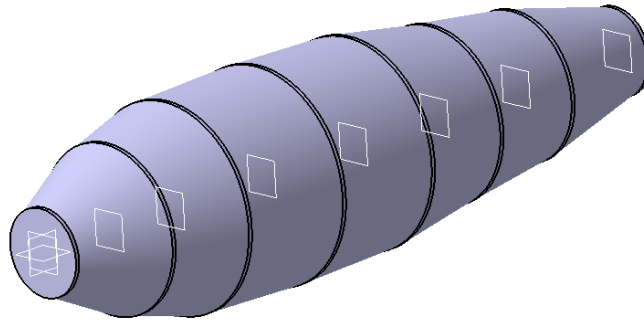


Figura 4.83.- Góndola con espesor

Una vez ya se tiene la góndola completa del motor, se realiza un *Sketch K* que se usa para hacer un *Pocket* sobre la góndola, ya que esta posee un hueco en el que va el mecánico de motor, por si surge cualquier tipo de avería poder repararla en pleno vuelo.

También se hacen otros *Pocket* sobre la góndola. Uno de ellos está en las tapas frontales, ya que por ahí pasa el eje de la hélice.

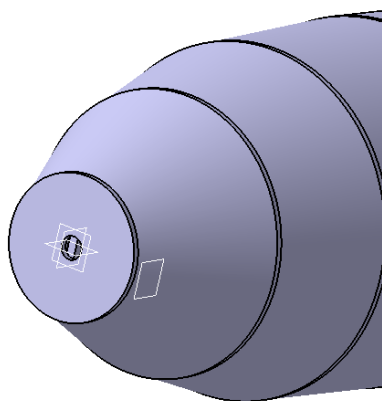


Figura 4.84.- Hueco para la hélice

Como se puede observar, se le han realizado unos *Pad* en forma de tubos, simulando los detalles que se ven en las imágenes para que sea lo más realista posible. Para ello simplemente se han colocado dos planos uno enfrente de otro y se han hecho una serie de *Sketch* circulares los cuales se han unido con *Multisection Solid*.

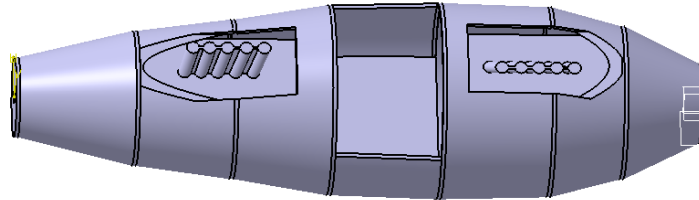


Figura 4.85.- Góndola con detalles

Por último, se le aplica un color. Se optan por tonos grises ya que la góndola estaba hecha de aluminio y acero. El resultado final es el siguiente.

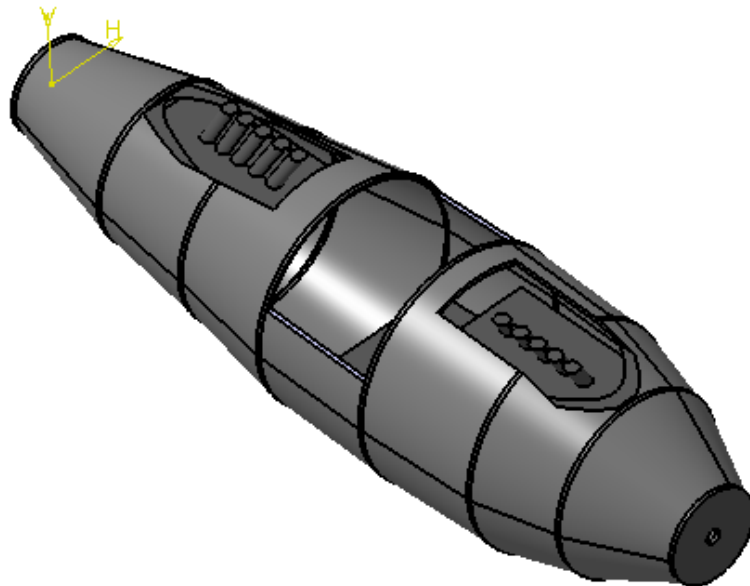


Figura 4.86.- Góndola del motor con color

4.5.2 La hélice

El grupo motor poseía dos pares de hélices por cada góndola del motor. Esto se debía a que en cada extremo tenía un motor independiente.

Para el diseño de las hélices, se tienen datos visuales claros, y una medida. La medida es el diámetro de las hélices, tanto de la delantera como de la trasera. En las siguientes imágenes, se muestra la hélice y el dato anteriormente comentado

Tractor propellers diameter, 4·26 m. (14 ft.)
Pusher propeller diameter, 4·3 m. (14 ft. 1 in.)

Figura 4.87.- Recorte del dato del libro



Figura 4.88.- Foto de la hélice

No obstante, no se tienen datos respecto a la curvatura y la incidencia de esta. Por lo tanto, se estimarán de la mejor manera posible, para realizar una recreación lo más fiel posible de la realidad.

Gracias al libro de referencia, se puede ver como en función del tipo de R.VI podía tener un tipo de hélice u otra. Es más, incluso se intentó usar cuatro hélices por motor, pero no fluctuó. En las siguientes imágenes se ve otro tipo de hélice y como se intentó usar cuatro en vez de dos.



Figura 4.89.- Foto otra hélice

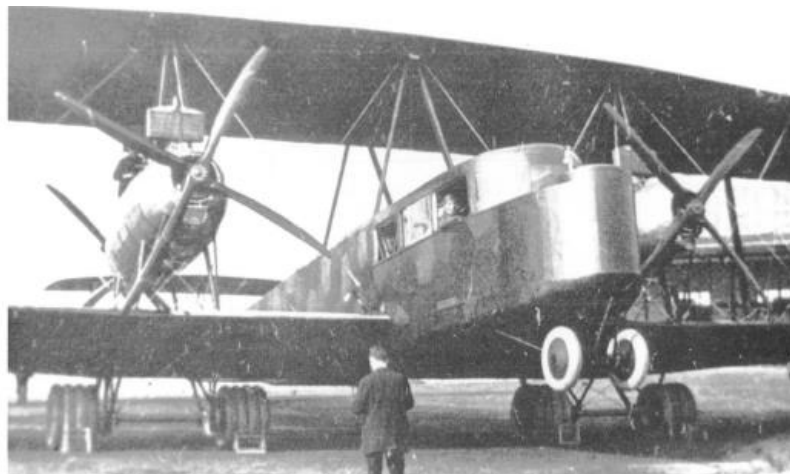


Figura 4.90.-Hélices con cuatro palas.

El diseño de la hélice en Catia es bastante sencillo. El procedimiento seguido es el siguiente.

En primer lugar, se hace un *Pad* a un *Sketch* circular, el cual simula el centro de la hélice. A este *Pad* se le aplica un *Pocket* en los extremos para que tenga forma recta porque es por esos lados donde parte la hélice. En ese lateral se crea el primer *Sketch* con forma elíptica.

Posteriormente se crean los distintos planos a las distancias correspondientes donde se producirá un cambio de curvatura de la pala. Luego en ellos se realizan los distintos *Sketch* con forma elíptica.

Los distintos *Sketch* con forma elíptica se unen gracias a la orden *Multisection Solid*, y eso genera la primera parte de la hélice. Luego en la última sección se hace un *Pad* con la forma de la punta y se le aplica un *Edge* para que quede redondeado.

La otra parte de la hélice no se puede hacer aplicando simetría, ya que no es simétrica respecto al plano central. Por lo tanto, se sigue el mismo procedimiento que para la otra parte.

Una vez se tiene la parte principal de la hélice se hace sobre la parte central un *Sketch* circular al que se le aplica un *Pad*, para que se el eje el cual engancha la hélice al motor.

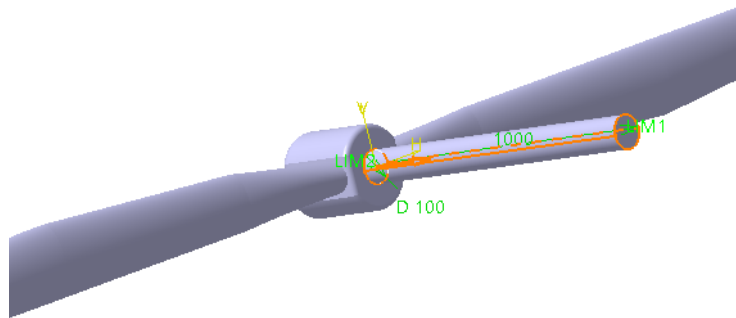


Figura 4.91.- Eje de la hélice

De este modo se completa el diseño de la hélice, obteniendo el siguiente resultado.

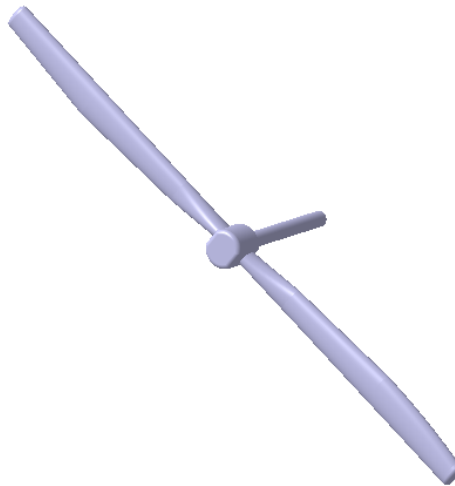


Figura 4.92.- Helice del avión

Al igual que a las demás piezas, el último paso consiste en aplicarle color. Las hélices solían ser de madera, así que se opta por aplicarle un tono de marrón.

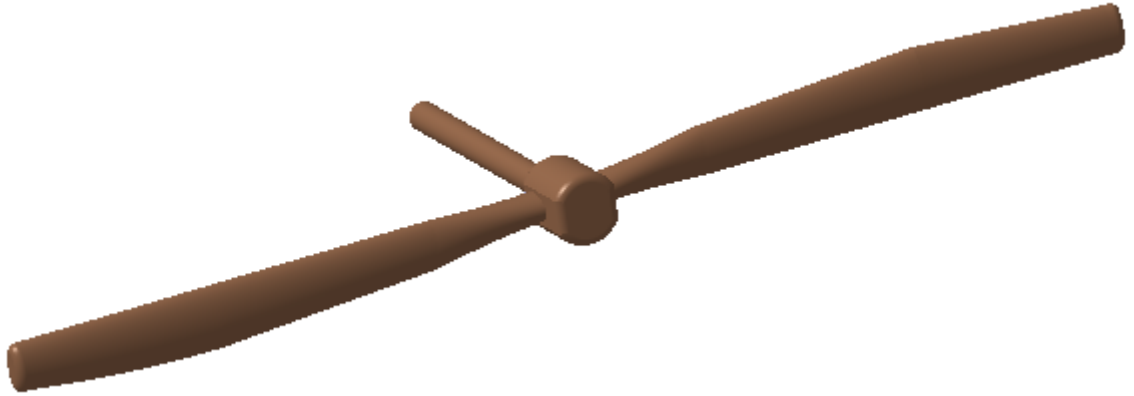


Figura 4.93.- Hélice con color

4.6 Los estabilizadores

Los estabilizadores de la aeronave también son una parte muy característica de esta. Al igual que el ala, son dobles tanto el horizontal como el vertical.

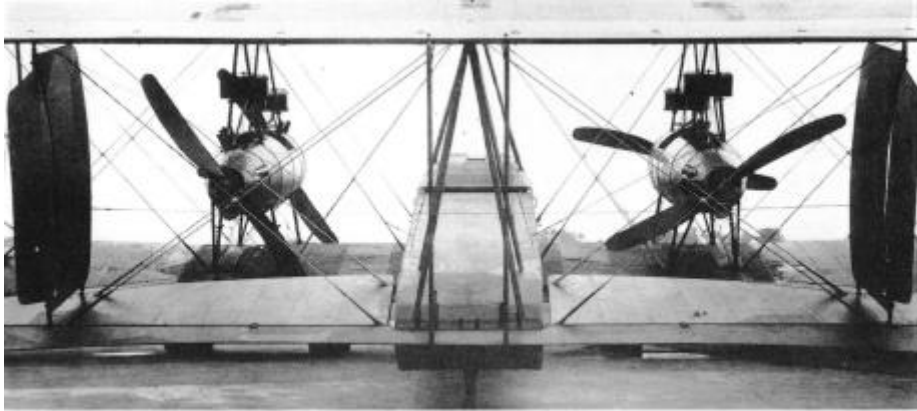


Figura 4.94.- Fotografía de los estabilizadores

A continuación, se explica en mas detalles el diseño del estabilizador horizontal y vertical, ambos por separados.

4.6.1 El estabilizador horizontal

El diseño del estabilizador horizontal es muy similar al de las alas. En este caso también disponemos de algunos “planos” en los que aparece, y sale algo más detallado, que en fotos de la aeronave. Alguno de estos planos son los siguientes:

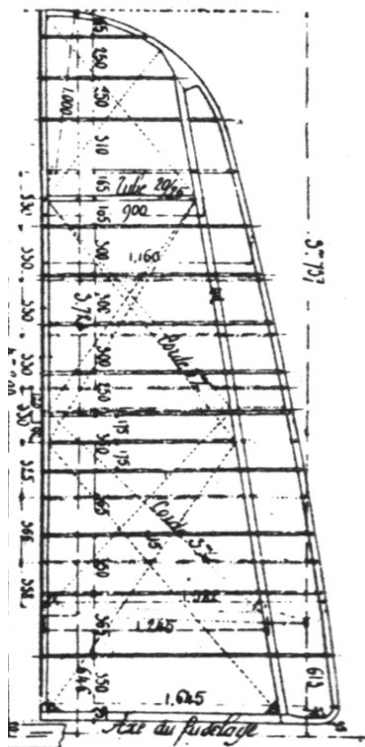


Figura 4.95.- Esquema del estabilizador horizontal

Como se observa en la imagen, la mitad del estabilizador está compuesto por trece costillas, las cuales son atravesadas por tres largueros, dos en los extremos que sirve para mantener la forma y otro más cercano al borde de ataque que es donde incide la corriente y necesita mayor resistencia.

La envergadura total del ala según el libro de referencia son nueve metros, y con los planos que se tienen y usando escalas a mano, se puede comprobar que coincide. Por lo tanto, conociendo lo que mide la semienvengadura, se puede conocer el tamaño de la costilla en la raíz del estabilizador y en la punta. Las medidas son las siguientes:

Perfil Raíz	1700 mm
Perfil Punta	700mm

Tabla 4-3.- Medidas de los perfiles del estabilizador

Este estabilizador, es curioso, ya que es doble, al igual que el ala tiene una parte pegada al final de la cola del avión y otra parte por encima. La parte inferior es exactamente igual que la de arriba, con el simple cambio de que tiene un hueco en medio, por el cual se pega al fuselaje.

Antes de comenzar con el modelado, que es muy similar al de las alas, una de las dudas que surgen es el tipo de perfil que tiene el estabilizador, del cual no se tiene ningún dato. Una de las opciones es usar el del ala, y como en el borde de salida pasa un larguero, en vez de que acabe en punta se podría redondear. La otra opción es hacer un nuevo perfil.

Se opta por usar el mismo perfil, pero con el borde de salida redondeado, tal que así:

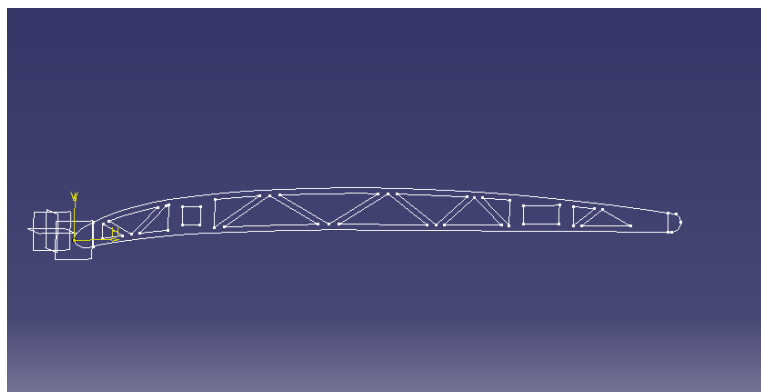


Figura 4.96.-Sketch del perfil del estabilizador horizontal

En primer lugar, se comienza realizando el perfil de la raíz, el cual como ya se ha comentado mide 1700 mm. Este perfil se hace en un plano a 250 mm del plano central, ya que en el centro del estabilizador hay una viga rectangular en la cual van las vigas verticales de sujeción.

Una vez se tiene el contorno, se realiza el *Sketch* de las cuatro vigas que conforman el estabilizador y los *Sketch* correspondientes a los distintos huecos que existen en el perfil de forma triangular.

Luego se hace un plano a 4250mm del anterior, donde está el perfil de punta. Para llevarse todos los *Sketch* a ese plano se usa la orden *Scale* en la que se aplica un factor de escala, que es el siguiente:

$$\text{Factor de escala} = \frac{0.7}{1.7} = 0.4117$$

Para aplicar esta orden hay que tomar una referencia que es el borde de salida del perfil, ya que el estabilizador tiene flecha y de este modo el borde de salida se mantiene constante a la misma distancia y el de ataque va disminuyendo. Teniendo todo esto en cuenta, se copian todos los *Sketch* en el nuevo plano.

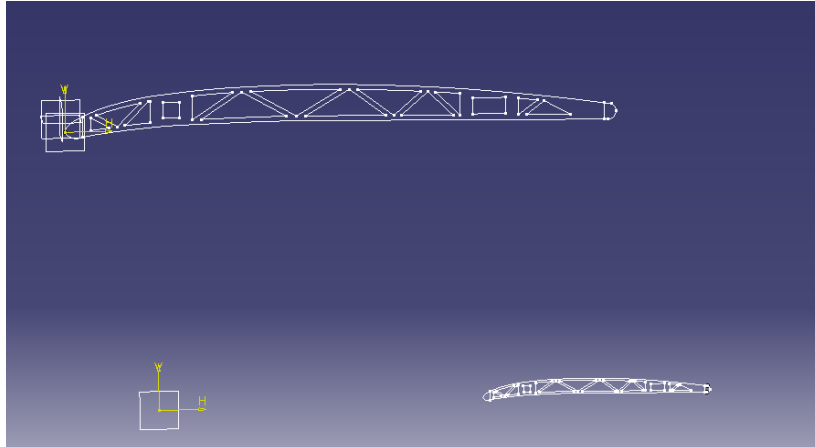


Figura 4.97.- Perfiles del estabilizador escalados.

Con todos los *Sketch* ya preparados, se pasa a hacer ya los sólidos.

En primer lugar se realiza un *Multisection-Solid* entre los dos contornos de perfiles. Obteniendo un sólido con la forma y tamaño de la mitad del estabilizador. Después se realiza entre todos los *Sketch* de los huecos del perfil raíz y punta, un *Multisection-Remove* para hacer esos huecos.

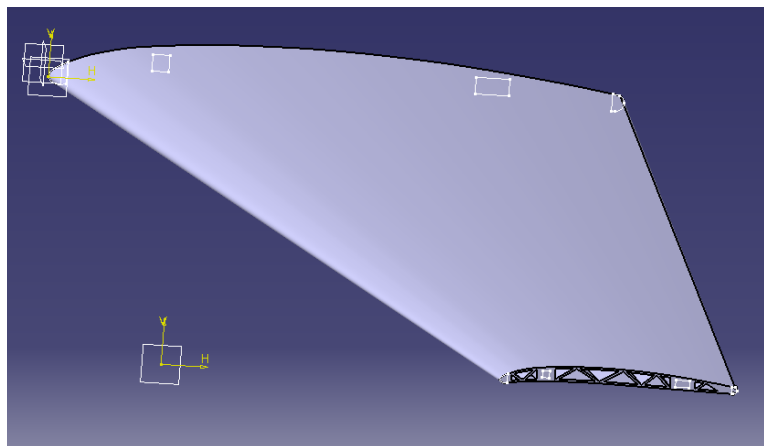


Figura 4.98.- Sólido con huecos

Para hacerlas costillas, se realiza un *Sketch*, que se usa para hacer un *Pocket*. Para hacerlo de forma precisa se realizan una serie de cálculos. Con los datos de la dimensión de la mita del estabilizador, $L=4250$ y el espesor del perfil $E=20\text{mm}$ y sabiendo que hay 13 costillas, se calcula que la separación entre rectángulos es de 352.5mm y luego se hacen varias copias para evitar hacerlo uno a uno con la orden *Translate*.

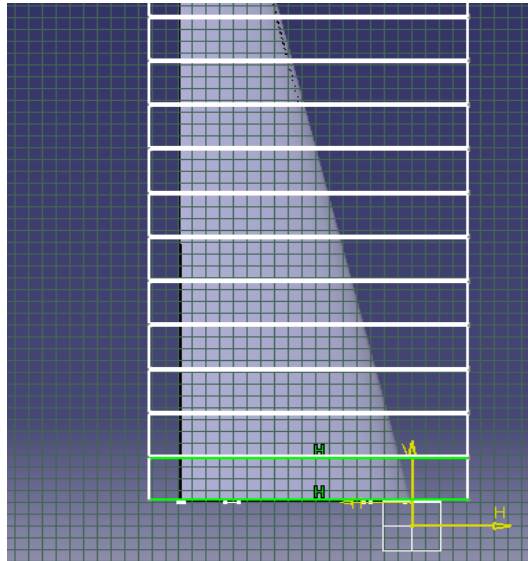


Figura 4.99.-Sketch para hacer las costillas

Ya con las costillas listas, usando nuevamente la orden *Multisection-Solid* se unen los distintos *Sketch* de las vigas y se crean estas. De ese modo ya se tiene la mitad del estabilizador superior horizontal.

Para obtener la otra mitad se hace un *Mirror* con respecto al plano de simetría, y de este modo se tiene el estabilizador horizontal superior, sin la parte central, para la cual se ha dejado un hueco.

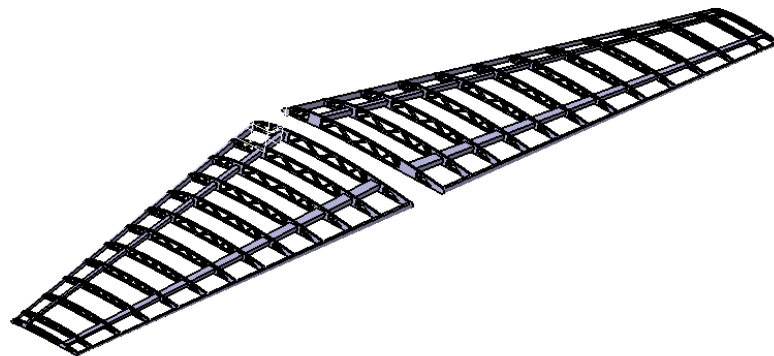


Figura 4.100.-Estabilizador horizontal sin parte central

Para hacer la plataforma central se hace un *Sketch* rectangular con el ancho del hueco que se ha dejado, al que se le aplica un *Pad* de 500 mm . De ese modo se obtiene la parte central del estabilizador, donde se unen las vigas verticales que unen ambos estabilizadores, y dan estabilidad a la estructura.

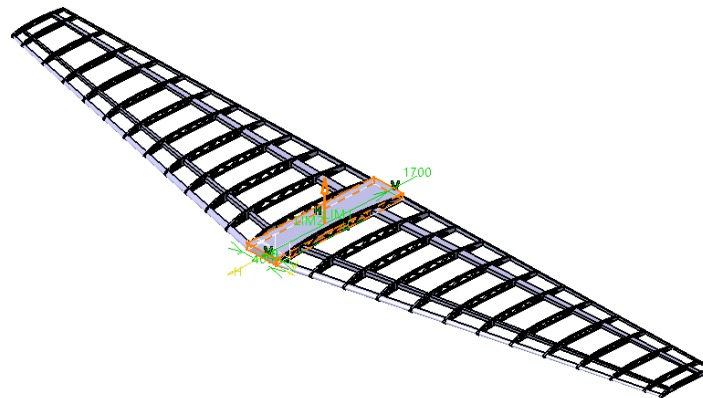


Figura 4.101.-Parte central del estabilizador horizontal

Para tener la pieza completa lo único que faltaría sería hacer el conjunto de barras que salen de la sección central, para apoyar la parte superior sobre el fuselaje, y los cables que soportan las tensiones, los cuales van unidos a los extremos del estabilizador vertical.

Para realizarlos se han seguido los pasos típicos para crear “tubos” en el módulo *Wireframe and Surface Design*, con la orden *Sweep*. Luego se les ha dado el espesor correspondiente, a los tubos como es lógico bastante mayor espesor que a los cables de acero, obtenido el siguiente resultado final.

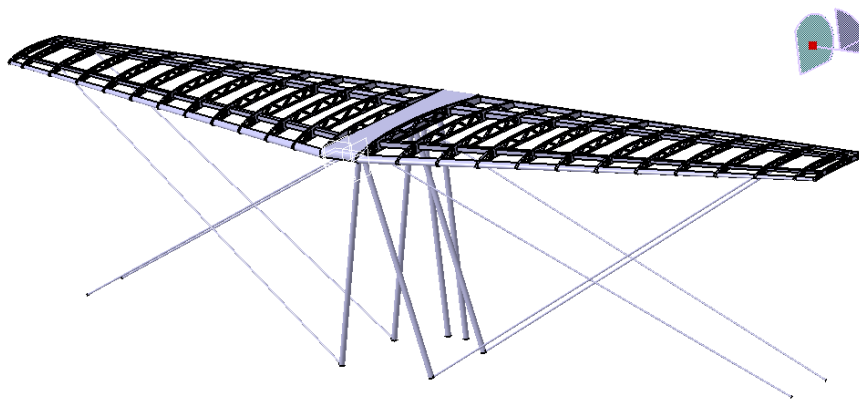


Figura 4.102.- Estabilizador horizontal superior completo

Tras la finalización de la estructura se le aplican colores. Quedando de la siguiente manera.

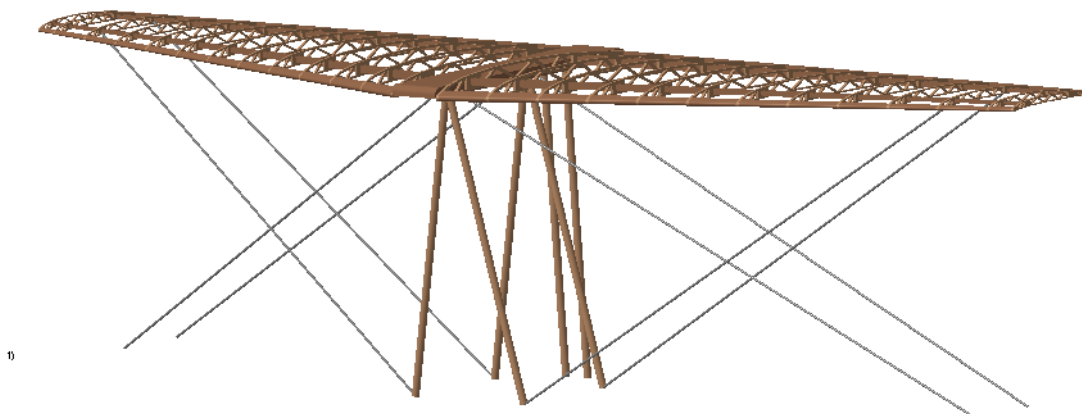


Figura 4.103.-Estrutura estabilizador horizontal superior pitando

Con toda la estructura ya montada, se procede a la creación de la superficie que cubre las costillas. Su realización es sencilla, ya que consiste básicamente en crear unos *Sketch* de los perfiles un poco mas grandes, y los unimos a través de la orden *Multisection Surface*. Con la superficie creada se le da espesor con *Thick Surface* y se obtiene la superficie.

Además, le añadimos los colores para que la recreación sea lo mas fiel posible.

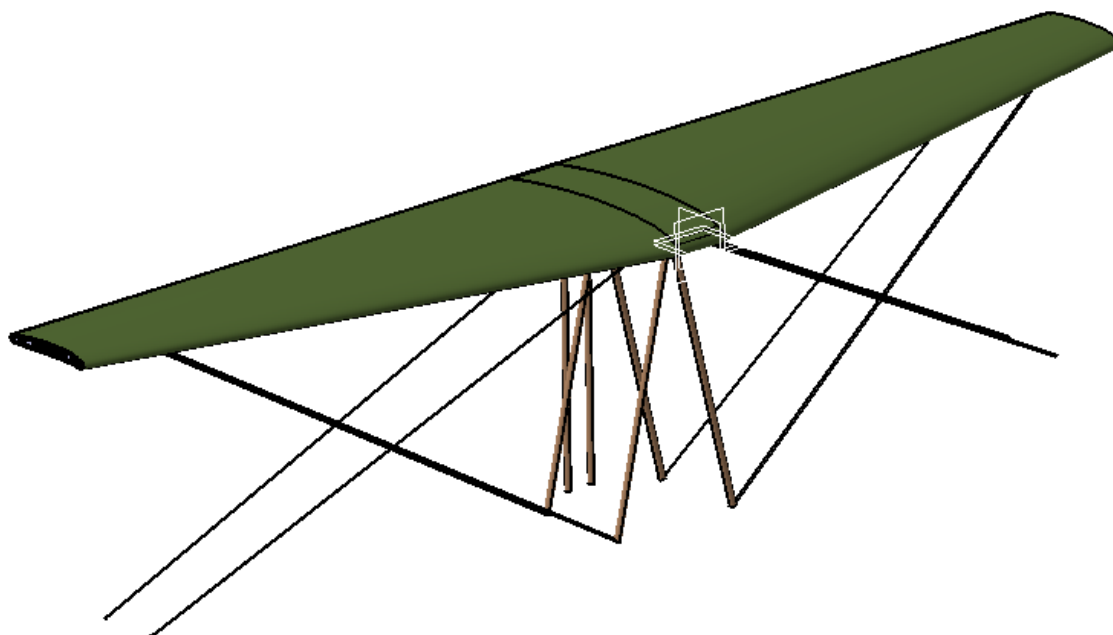


Figura 4.104.- Estabilizador Horizontal superior

De este modo explicado se obtiene el estabilizador horizontal superior. A continuación, se explica como de forma muy similar se obtiene el estabilizador horizontal inferior.

Entre el estabilizador horizontal superior e inferior, existen dos diferencias básicamente. Hay un hueco, del ancho del final del fuselaje, entre ambas partes del estabilizador, ya que es ahí donde se une al fuselaje. La otra diferencia, es que, a pesar de tener ese hueco, el borde de salida es constante, es decir, va de punta a punta.

Toda esta información se obtiene de forma visual, gracias a la imagen mostrada al principio de la explicación de los estabilizadores, en donde se ve claramente la forma que tiene el estabilizador horizontal inferior.

Por lo tanto, su modelado en Catia resulta muy sencillo, ya que se va a usar el archivo del estabilizador horizontal superior. Como de tamaño y forma es totalmente idéntico, lo que se decide hacer, es hacer un *Pocket* con la forma de la parte final del fuselaje del avión sin llegar al borde de salida del estabilizador.

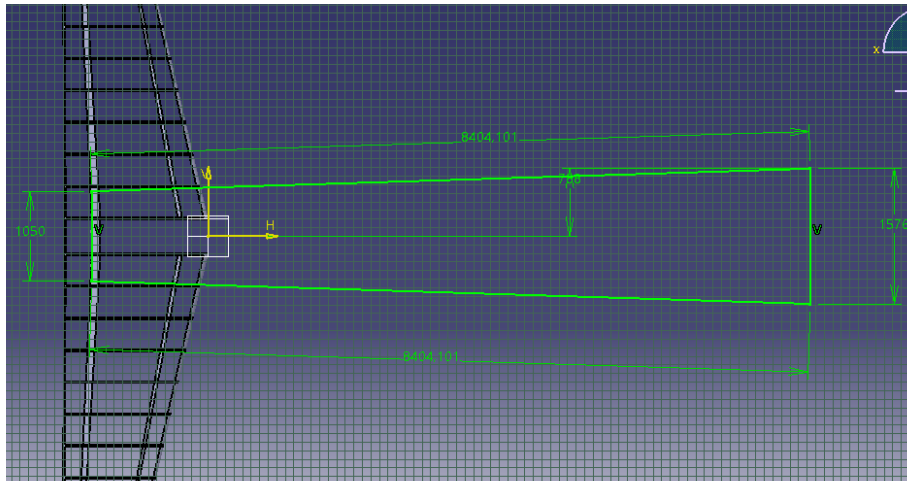


Figura 4.105.- *Sketch* del pocket

De esta forma, se obtiene el estabilizador con las medidas exactas, para que encaje con la cola de la aeronave. Además, al haber un hueco entre el *Pocket* y las costillas, simula el hueco existente que se ve en los laterales de la cola en la fotografía del estabilizador.

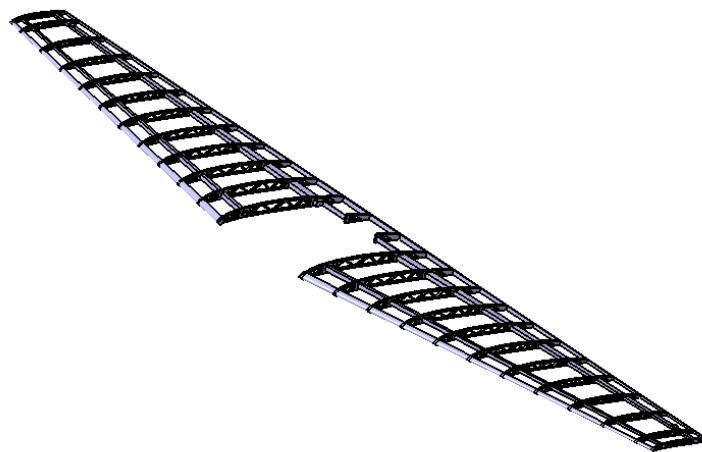


Figura 4.106.- Estabilizador horizontal inferior

Como en las piezas anteriores, se le da color a la estructura.

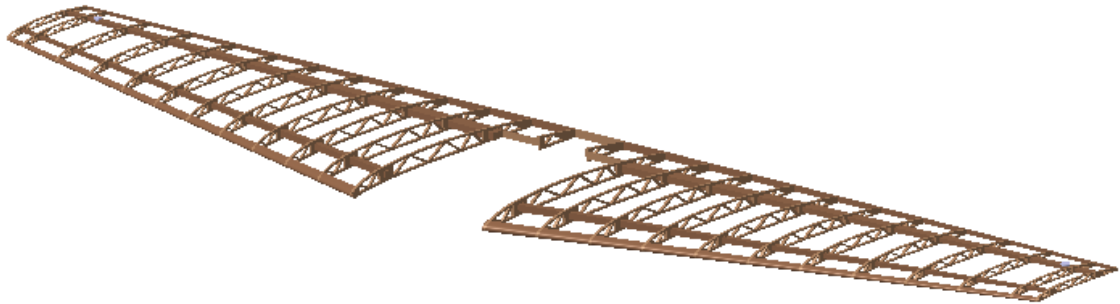


Figura 4.107.- Estructura estabilizador horizontal inferior pintado

Tras tener su estructura, al igual que en el estabilizador superior, hay que añadirle la superficie que lo recubre. El procedimiento es exactamente igual, generando unos *Sketch* de los perfiles un poco sobredimensionados, y creando una superficie que los una. Sin embargo, en este, al igual que en la estructura, hay que hacerle un hueco a la superficie donde va encajado el fuselaje del avión. Para hacer este hueco, se ha usado el mismo *Sketch* que se ha usado para el hueco de la estructura.

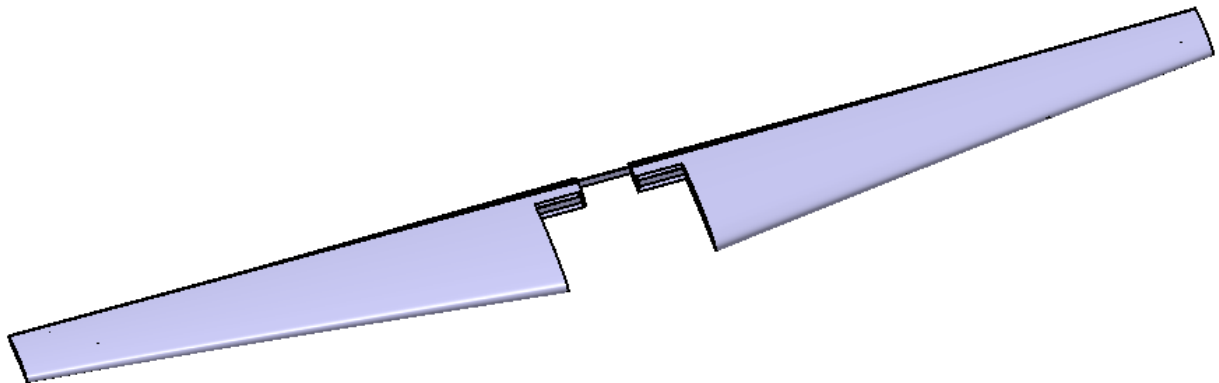


Figura 4.108.- Superficie del estabilizador horizontal inferior

Una vez se tiene el estabilizador al completo, se le aplica color a la parte visible, obteniendo el siguiente resultado.

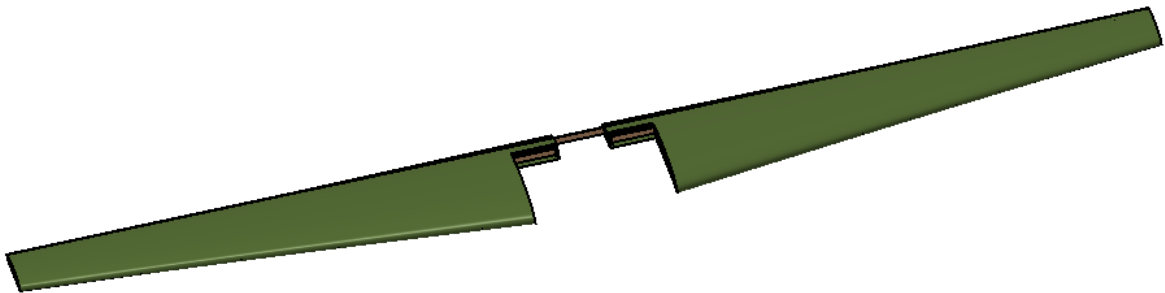


Figura 4.109.- Estabilizador Horizontal inferior pintado

4.6.2 El estabilizador vertical

El estabilizador vertical, al igual que el horizontal es doble. Sin embargo, son los dos totalmente simétricos, ya que van entre los dos horizontales, y ambos ocupan el mismo espacio.

La información que se posee acerca del estabilizador vertical es la misma que el horizontal. Se tiene algunas imágenes más descriptivas que para otras piezas del avión y lo que narra el libro de referencia acerca de este.

Se sabe que toda la parte de la cola del avión era de aluminio a excepción del estabilizador horizontal, por lo que el vertical era de aluminio totalmente.

Con respecto a datos numéricos, se sabe que la separación entre los timones de profundidad era de dos metros, y eso lleva a intuir que la altura de este estabilizador era de dos metros también. Con esa información y con la imagen que se presenta a continuación se puede hacer un escalador manual y sacar todas las medidas necesarias para su ejecución en Catia.

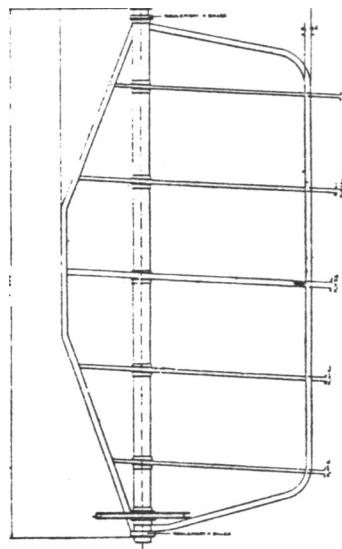


Figura 4.110.- Esquema estabilizador vertical

Como se puede apreciar es una estructura totalmente tubular, por lo que su construcción en Catia se hará de forma similar a otros procesos anteriores.

En primer lugar, se realiza una serie de *Sketchs* con la forma de este estabilizador. Primeramente, uno con la forma del contorno y luego se hacen seis más que son los correspondientes al tubo vertical y a las varillas transversales. Esto se hace así, ya que sino no podemos aplicar la orden *Sweep* por ser *Sketch* con la geometría abierta.

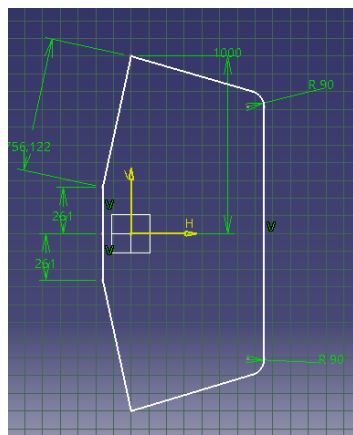


Figura 4.111.- *Sketchs* estabilizador vertical

Luego, como ya se ha mencionado se aplica la orden *Sweep*, en la cual necesitamos definir un radio. Se puede

apreciar en el plano, que hay tres tipos de diámetros, pues así se ha aplicado. El contorno junto con la varilla transversal central se le ha dado un mismo diámetro de 12 mm, al resto de varillas 10 mm y a la central 18 mm.

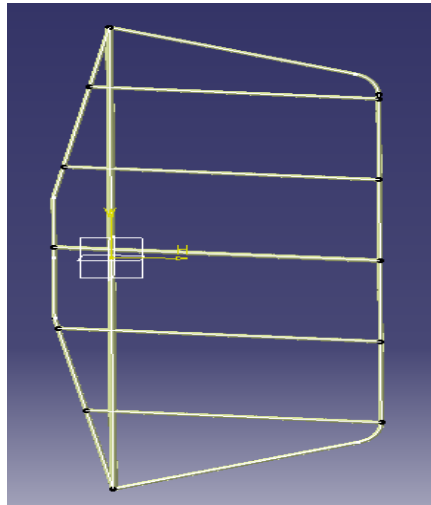


Figura 4.112.- Superficies de los tubos

Por último, ya en el módulo de *Part Design* se le da espesor con la orden *Thick Surface*, los espesores que se dan son para el contorno y varilla central X mm, el resto de varillas Y mm y la barra central Z mm. Y se le aplica material, que en este caso es Aluminio.

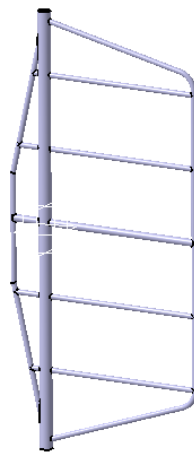


Figura 4.113.- Estabilizador vertical

Ahora se le aplica color, y la estructura queda de la siguiente manera.

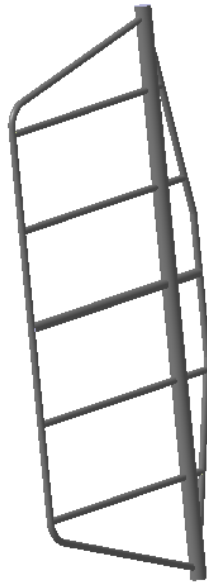


Figura 4.114.- Estructura del estabilizador vertical pintada

Tras tener la estructura básica de el estabilizador vertical, se realiza un procedimiento similar a las piezas anteriores, consistente en la creación de una superficie de recubrimiento, que es como visualmente se ve el avión.

Para la realización del recubrimiento, en el módulo *Wireframe and Surface Design* se crea a través de *Multisection Surface* una superficie a través de la unión de los *Sketch* que se han creado en distintos planos para que cubra la estructura en su totalidad.

Tras crear la superficie, se le da espesor al igual que en los otros casos. Por último, se le añade color, obteniendo el siguiente resultado.



Figura 4.115.- Estabilizador vertical con superficie

4.7 El montaje del avión

Una vez se han modelado todas las partes que conforman la aeronave, hay que proceder a unir estas, de tal modo que simule perfectamente el aspecto que se desea.

Para la unión de las distintas partes se usa un módulo hasta ahora poco usado en este proyecto, se trata del *Assembly Design*. Realmente, si se ha usado, ya que cuando se ha explicado sobre todo como se hacían los cables de aceros o los montantes de las alas, explicaba que se usaba un *Product* al que se le añadían las distintas piezas, pues esto es dicho *Product*.

Por lo tanto, lo que se hace en este módulo, es ir añadiendo las distintas piezas del avión y a través de las distintas herramientas sobre *Constraints*, ir definiendo las posiciones relativas de estas.

Antes de entrar en detalle y visualizar el resultado de la unión de las distintas partes, puede ser interesante explicar en que consisten las distintas *Constraints* que se van a utilizar.

Las *Constraints* son las restricciones que se le hacen a la pieza, gracias a las cuales se puede colocar donde se desee, y dejarla fija en una posición.

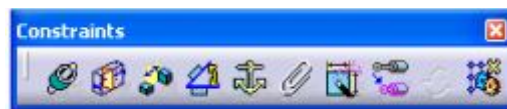


Figura 4.116.- Constraints

Los distintos tipos de restricciones que se pueden usar son los siguientes:

- *Coincidence* → Como el nombre indica hace que dos piezas coincidan, normalmente se utilizan en piezas cilíndricas ya que se suele usar su eje
- *Contact* → Esta se usa para indicar el contacto entre las caras de distintas piezas.
- *Offset* → Permite definir una distancia de paralelismo entre dos caras de dos piezas distintas
- *Angle* → Se usa para definir el ángulo formado entre dos piezas.
- *Fix* → Sirve para fijar la pieza una vez ya se tiene en la posición deseada.

Otra herramienta que se suele usar con habitualidad en este módulo es *Manipulation* cuya función, como se puede intuir del nombre, es manipular las distintas piezas que se van añadiendo al *Product*. Resulta de gran utilidad, justo cuando se añade un nuevo *Part* ya que estos salen descolocados, o unos encima de otros, y es más fácil colocarlos previamente y luego aplicarles las restricciones necesarias.

Estos movimientos, son traslaciones en todos los ejes, y giros con respecto a los distintos ejes. Además, existe la opción de manipularlas teniendo en cuenta las restricciones ya existentes.



Figura 4.117.- Manipulation

Tras haber explicado las principales herramientas de este módulo que se utilizan, y tener las distintas piezas modeladas, se pasa a explicar las distintas restricciones que se han aplicado sobre las piezas del avión para obtener el resultado final.

En primer lugar, se añade el *Part* correspondiente al fuselaje, ya que es la pieza a la que van todas unidas prácticamente, por lo tanto, a este no hay que aplicarle ninguna constraint, a parte de fijarla en la posición de inicio.

Una vez ya se tiene principiada, se pueden ir añadiendo sobre ella las distintas partes. Primeramente, se añade el ala inferior. El ala inferior, tiene el hueco exacto del ancho de la cabina, en medio de la estructura. Usando los planos de referencia, tanto del ala como del fuselaje, se aplican las distintas restricciones. Una de ellas es que la distancia entre las paredes laterales del fuselaje, y las costillas del ala (en el hueco) sea cero. Luego usando los planos de referencia se le aplica un *offset* tanto para colocarla longitudinalmente como en altura.

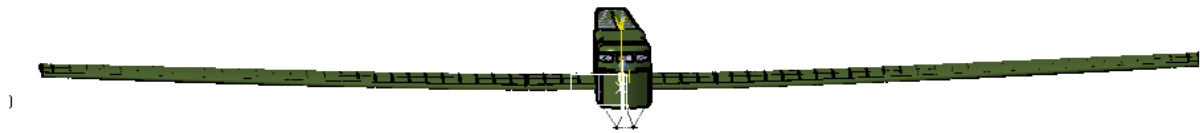


Figura 4.118.- Ala inferior

Logicamente, una vez que se tiene el ala inferior, se añade la superior. Como estas son prácticamente simétricas y una está situada sobre la otra es muy sencillo de añadir las restricciones para su correcto ajuste. Para colocarla, basta con añadir dos restricciones de *Offset* entre los planos de referencia de las dos alas, y es que la distancia entre ellos sea cero. De ese modo se encuentra en la misma posición que el ala. Posteriormente se le añade otra restricción del tipo *Offset* que es la altura que tiene un ala sobre la otra. Para ello, se usan los distintos planos que se tienen impresos, y se aplica el correspondiente factor de escala.

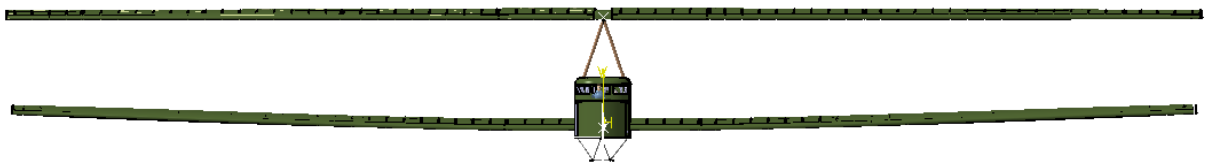


Figura 4.119.- Ala superior

Ya con las dos alas colocadas, se empiezan a situar las distintas piezas existentes entre las alas. Estas piezas son tres principalmente, la estructura del tren principal, la góndola, y los montantes. Primero se opta por colocar la góndola, ya que es como se ha procedido para la creación de la estructura del tren. Para situar la góndola hay que añadir tres restricciones del tipo *Offset* con las distancias, desde el borde de ataque, desde el lateral del fuselaje y la altura de la góndola respecto al ala. Luego cuando está bien situado se añade la orden *Fix*.

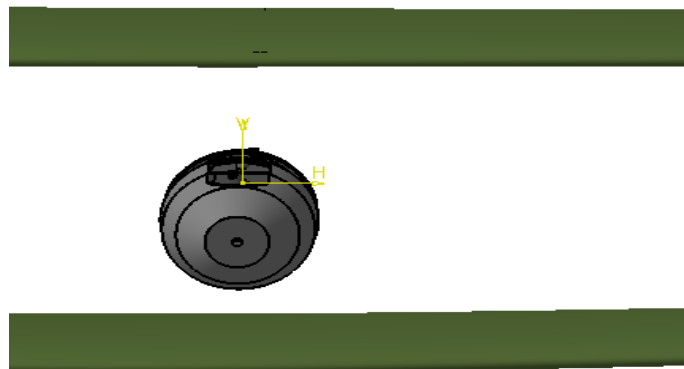


Figura 4.120.- Góndola

Luego, se añade la estructura del tren principal, siguiendo un procedimiento similar. Teniendo en cuenta que de la estructura del tren salen cables que van a parar a la sección central del ala, es conveniente comprobar que estos están correctamente colocados. Lo normal es que lo estén, ya que han sido diseñados teniendo en cuenta la posición de las alas.

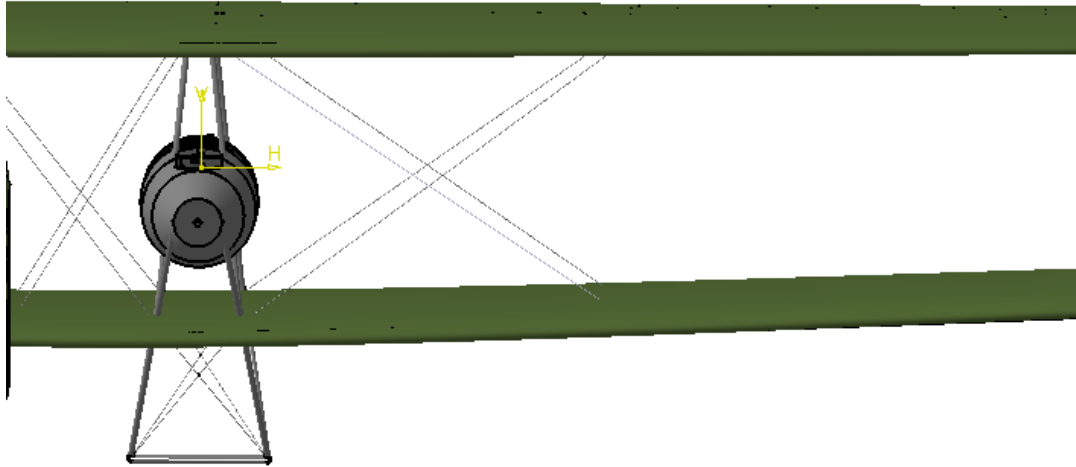


Figura 4.121.- Estructura del motor y cables

Otra parte de las alas, como ya se ha mencionado, son los montantes y los cables de acero. Estos ya con la referencia del motor, y tal, se colocan también usando restricciones del tipo *Offset* y por último se fija con la orden *Fix*.

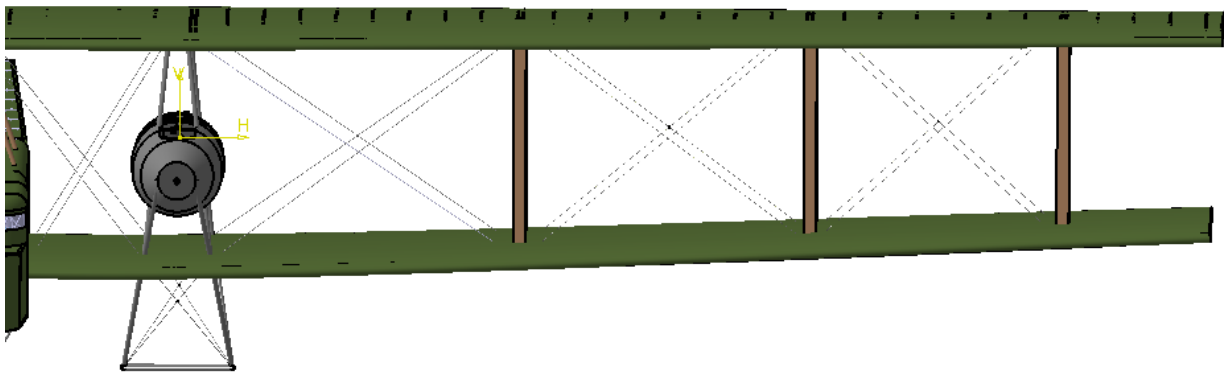


Figura 4.122.- Montantes entre alas

Otra pieza que hay que añadir al *Product*, son la hélice y las ruedas del tren. Estas piezas tienen algo en común y es que ambas constan de una parte cilíndrica, la cual facilita mucho la tarea, ya que usando la restricción *Coincidence* se facilita mucho la tarea.

Para la hélice, basta con aplicar la orden anteriormente comentada, haciendo que coincidan en el eje de la hélice y el hueco de la góndola del motor, y luego aplicando que la distancia entre la parte central de la hélice y la tapa de la góndola sea cero, para que estén en contacto, u otra opción es aplicar la restricción de contacto entre esas dos caras.

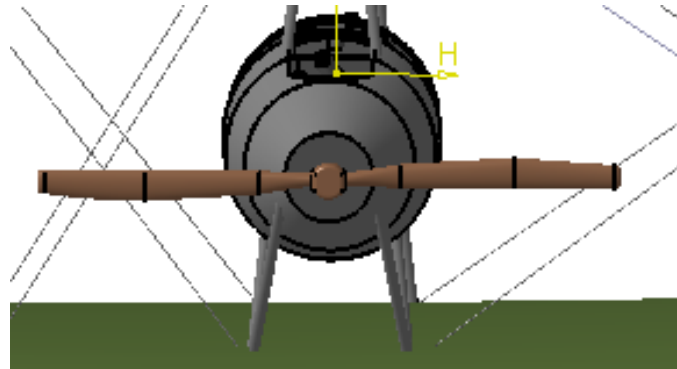


Figura 4.123.- Hélices

Con las ruedas del tren pasa lo mismo, las ruedas están formadas por el conjunto neumático y llanta, y el tren de aterrizaje consta de ocho ruedas, por lo que hay que añadir muchas piezas. Sin embargo, es sencillo, porque las llantas y las ruedas se les pone la restricción de que coincidan con el tubo de la parte inferior de la estructura del tren, y luego se va aplicando la correcta separación entre ellas.

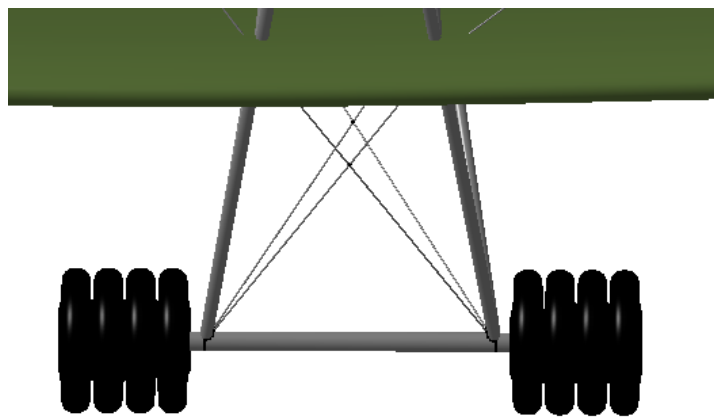


Figura 4.124.- Tren de aterrizaje

Una vez se tiene todo correctamente colocado en un semi-ala, como el conjunto es simétrico, en vez de añadir

nuevamente las piezas y colocarlas en la parte izquierda, se aplica simetría respecto al centro de la estructura, y de este modo se obtiene, la hélice, la góndola, la estructura del tren principal, los montantes y cables y todas las ruedas al otro lado del ala.

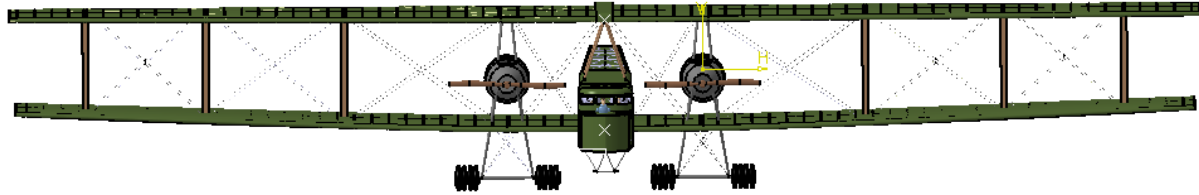


Figura 4.125.- Simetría entre las dos alas

Con toda la parte central del avión ya correctamente distribuida y posicionada, se pasa a completar la zona de la cola. Esta zona está formada por los dos estabilizadores horizontales, y los dos verticales, además de los montantes y cables de acero, los cuales están incluidos en el *Part* del estabilizador horizontal superior, que es el que incluye la pieza central.

En primer lugar, se posiciona el estabilizador horizontal inferior, que al igual que el ala, este posee un hueco en el cual encaja la parte final de la cola del avión. Las restricciones utilizadas son del tipo *Offset* y buscan que el estabilizador esté en contacto con la parte final de la cola, es decir, tanto los perfiles laterales como la parte trasera, tenga una distancia de cero con respecto a las caras de contacto de la cola. Además, también se añade una restricción que le da la altura a la que está posicionado este. Una vez se tiene en posición, se le da a *Fix* para que no se mueva.

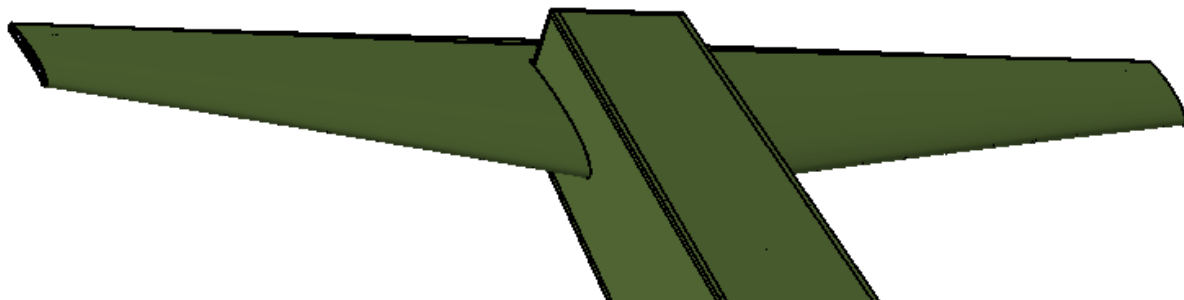


Figura 4.126.- Estabilizador horizontal inferior

Luego, como es lógico, se añade el estabilizador horizontal superior. Este es muy fácil de colocar, ya que al tener las mismas dimensiones que el inferior, simplemente hay que hacer que los planos de referencia coincidan, para que se posicione igualmente que el de abajo, y luego aplicarle un *Offset* para darle la altura necesaria, desde el estabilizador inferior. El dato de esta altura se obtiene, gracias a que el libro de referencia informa de cuál es el espacio entre ambos estabilizadores, que es, lo que mide el estabilizador vertical. Esta distancia es de dos metros.

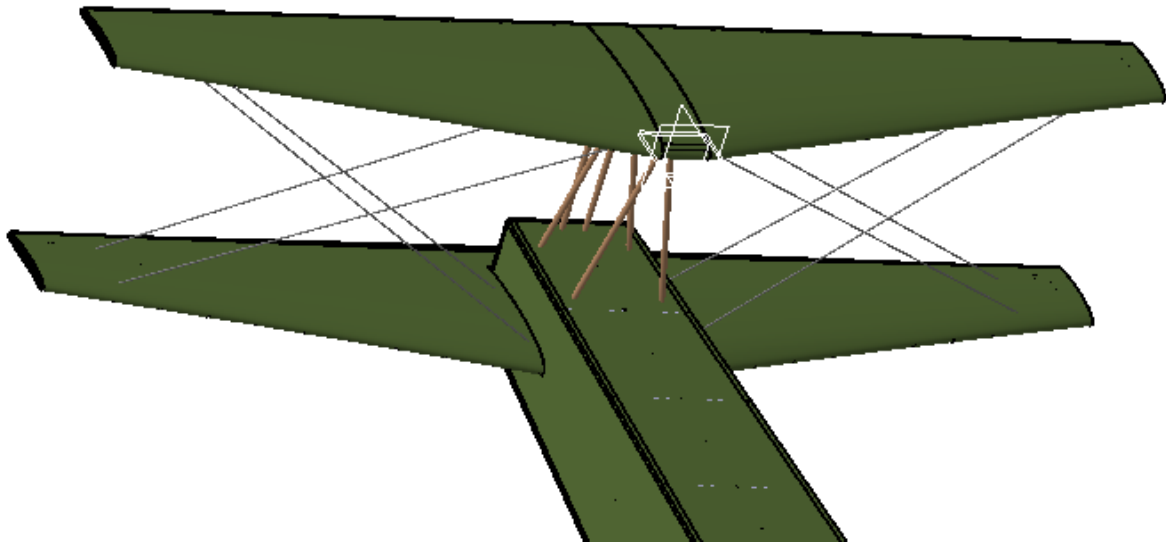


Figura 4.127.- Estabilizadores Horizontales

Una vez que se tienen ambos estabilizadores, se añade el vertical. El vertical resulta relativamente sencillo de posicionar, ya que el estabilizador horizontal, en la zona del larguero donde va incluido el vertical, tiene una pequeña pieza en forma de disco, la cual ha sido creada para que no sobresalga el tubo del estabilizador vertical, y además facilitar la tarea que se está realizando. Por lo tanto, se usan unas restricciones de tipo *Coincidence* y *Offset* para que de este modo coincidan ambos ejes, y queden pegadas las caras que se desean.

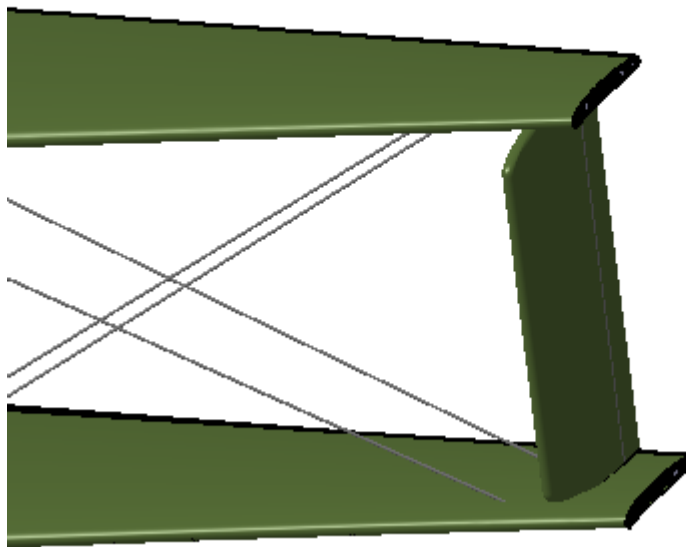


Figura 4.128.- Estabilizador Vertical

También hay que añadir el otro estabilizador vertical. No obstante, como es simétrico, en vez de añadir una nueva pieza, simplemente se puede aplicar simetría y de este modo obtener los estabilizadores ya totalmente en su posición.

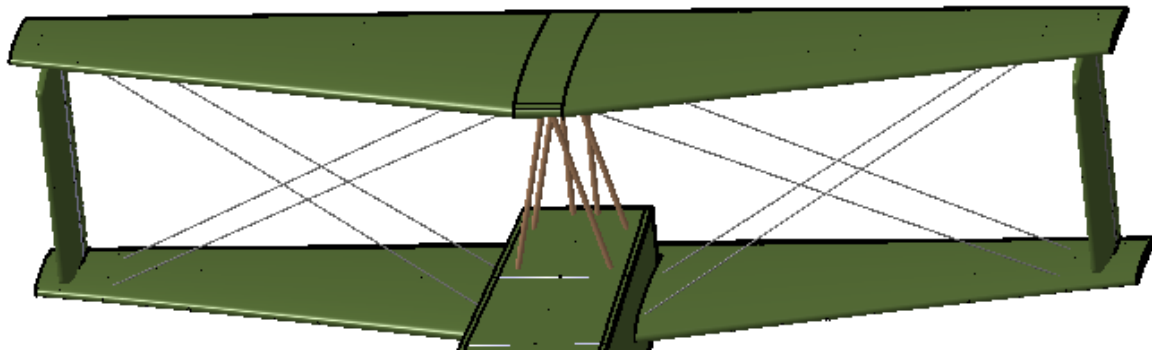


Figura 4.129.- Estabilizadores verticales

De este modo se obtiene la estructura del avión al completo ya montado. Resultando como el avión que se mostró al principio del documento.

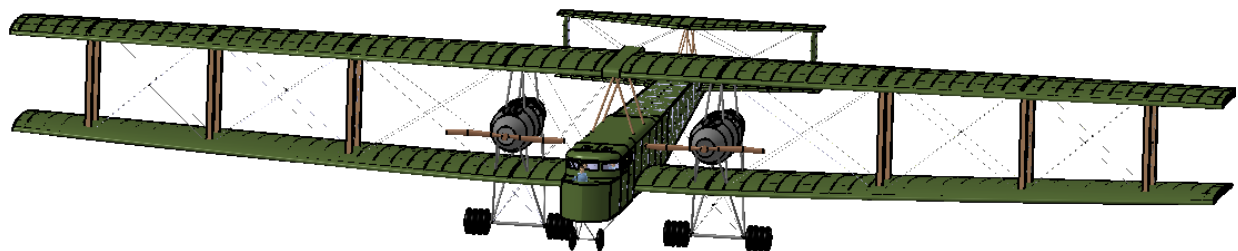


Figura 4.130.- Modelado completo

4.8 Ergonomics Designs and Analysis

En este apartado se va a explicar el procedimiento llevado a cabo para la realización de parte de la tripulación de la aeronave.

El título de este apartado coincide con el módulo de la herramienta Catia. Como dicho nombre indica, en este módulo se trabaja la ergonomía del diseño. Es decir, gracias a la simulación de una persona la cual puedes aplicarle las características deseadas, puedes realizar un diseño que se adapte a su forma.

En este caso, para los asientos y las distintas zonas donde van situada la tripulación no se ha tenido en cuenta esto, sino que ya estaban diseñados cuando se decidió usar este módulo. Sin embargo, se ha comprobado que coincide perfectamente con el cuerpo humano. Por lo tanto, para este trabajo se ha usado para simular la tripulación, además de aprender a usar una nueva herramienta en Catia.

Una vez en el módulo, se pulsa sobre la opción *Build a Human* y en está se le da a *New Manikin*.

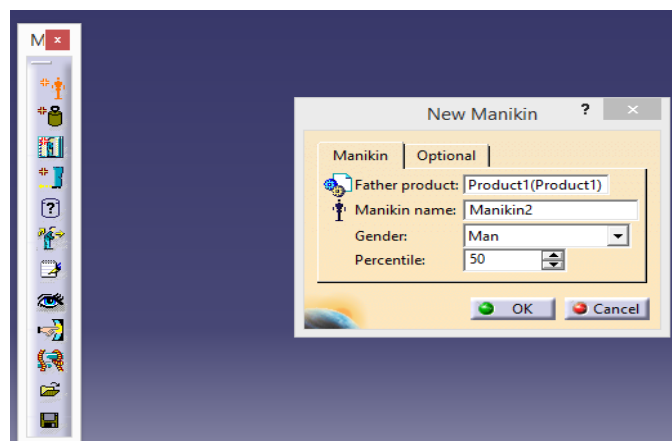


Figura 4.131.- New Manikin

Tras pulsar Ok se crea el cuerpo y a aparece en pantalla. El cuerpo que aparece tiene el siguiente aspecto.



Figura 4.132.- Humano

Como puede apreciarse, el cuerpo aparece en una posición recta, por tanto, hay que colocarlo en la posición deseada. Para ello hay que irse al *Posture Editor* en donde se puede seleccionar todas las partes del cuerpo e ir posicionándolo en la postura deseada.

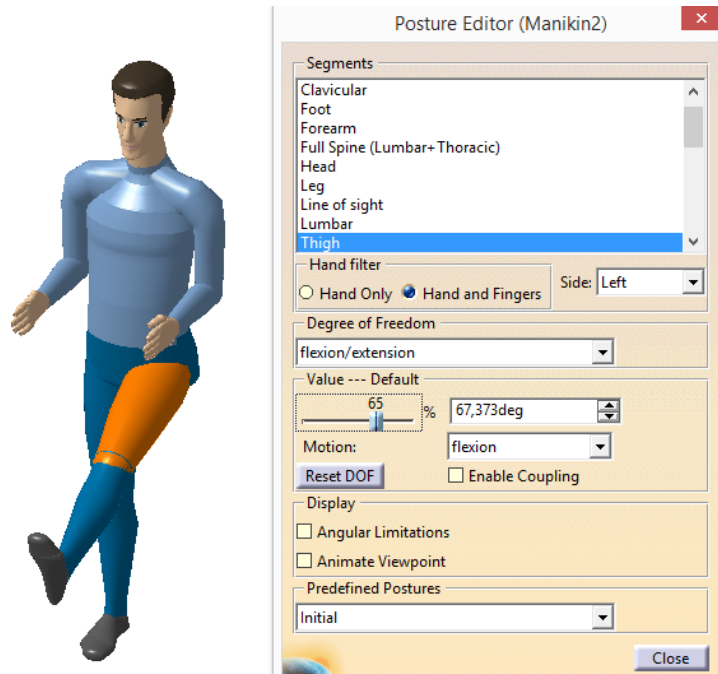


Figura 4.133.- Posture Editor

En la imagen anterior, se ve como se selecciona en ese caso el muslo, y se le pone el ángulo deseado, en función de la postura que se busque.

Por tanto, el procedimiento consiste en ir seleccionando las distintas partes del cuerpo y colocarlas en la posición deseada. Es interesante destacar como incluso se pueden colocar las distintas partes de los dedos, lo cual ha facilitado el simular el agarre del piloto al volante.

Para situar a los pilotos en la posición deseada, se ha utilizado el comando *Manipulation Parametres*. De este modo se han situado los dos pilotos sobre los asientos y un armero en la parte delantera. Solo se ha optado por realizar tres tripulantes, aunque realmente fueran siete los que solían viajar en el avión, porque con la visualización de alguno ya se puede ver como el avión tiene una escala bastante correcta.

Después de haber realizado los pasos comentados anteriormente el resultado que se ha obtenido se muestra en las siguientes imágenes, donde se pueden ver los distintos tripulantes en el interior del avión.

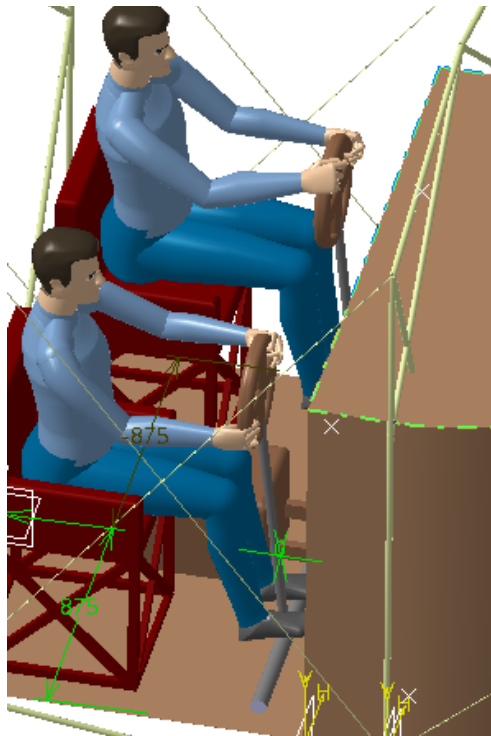


Figura 4.134.- Pilotos en los asientos

Como se puede apreciar, incluso los dedos de los pilotos están adaptados a la posición del volante de la aeronave.



Figura 4.135.- Tripulante en la punta del avión

Y de este modo, se han representado tres tripulantes para que sirvan como referencia de como se distribuían estos en la aeronave.

5 PLANOS

En este apartado se van a incluir los distintos planos que se obtienen a través del modelado del avión. Estos planos tienen como objetivo principal que puedan ser usados a posteriori ya que existe una gran falta de información acerca de este avión.

Los planos que se muestran son básicamente el alzado, el perfil y la planta, ya que son las vistas completas del avión, y además se dispone de algunas imágenes esquemáticas del avión con esas vistas.

Para la realización de los planos se ha usado el módulo de CATIA llamado *Drafting*, el cual sirve entre muchas otras cosas, para obtener las vistas de una pieza y acotarla, que es el objetivo con el que se va a usar en este proyecto.

La manera de proceder, para obtener las distintas vistas es la siguiente:

En primer lugar, como ya se ha explicado, se entra en el módulo *Drafting*, una vez allí le damos a generar un nuevo archivo en blanco. Se puede dar a que genere las distintas vistas directamente, pero como el eje de coordenadas no está colocado como se requiere para que muestre las vistas deseadas, se opta por la página en blanco.

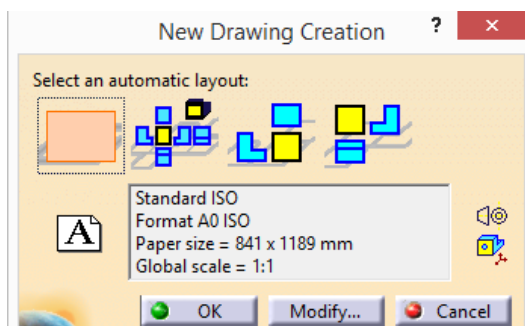


Figura 5.1.- New Drawing

Una vez se tiene abierto el *drawing*, se crean las vistas. Para ello, se selecciona el comando *Front View*, y como se buscan las tres vistas, se seleccionan los planos XY, YZ, ZX, tras clicar en *Front View* para tener las distintas vistas.

Con las vistas ya colocadas en el fondo blanco, ahora hay que acotarlas. Para ello, se usa el comando *Dimensions*, se selecciona el segmento que quiere ser medido, y ya sale la línea y la medida. Pero como el avión es muy grande, se ha tenido que ampliar el tamaño de los números de las medidas, para que se pueda ver.

Con este proceso se obtienen las siguientes imágenes.

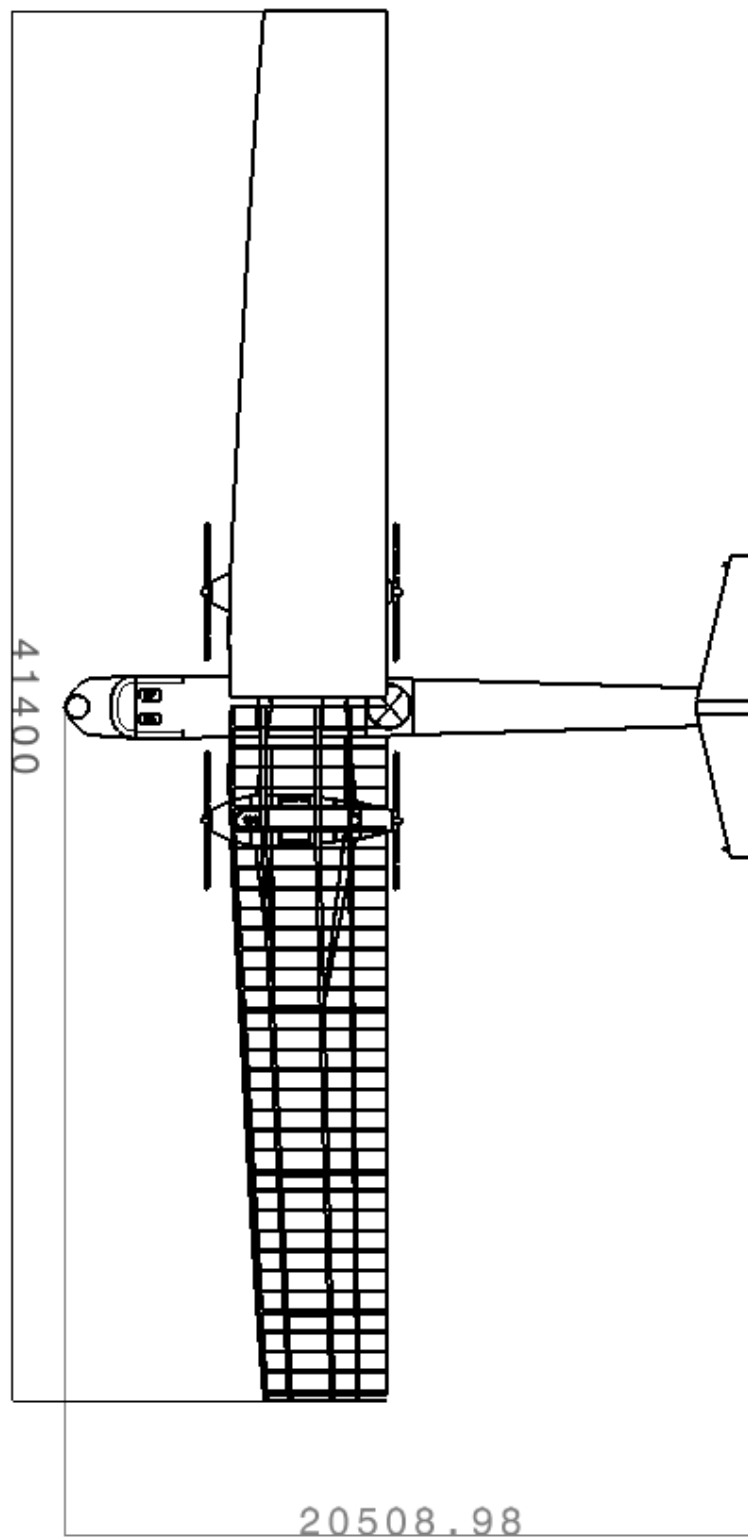


Figura 5.2.- Planos de planta

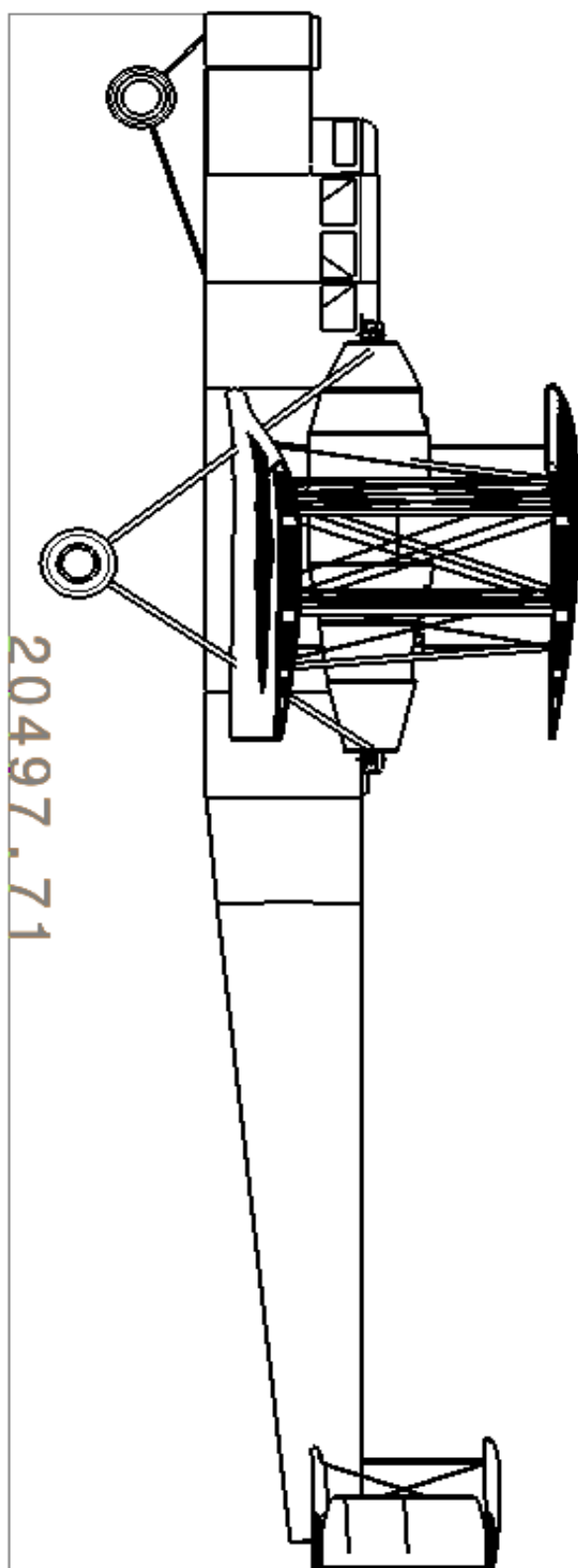


Figura 5.3.- Planos del perfil

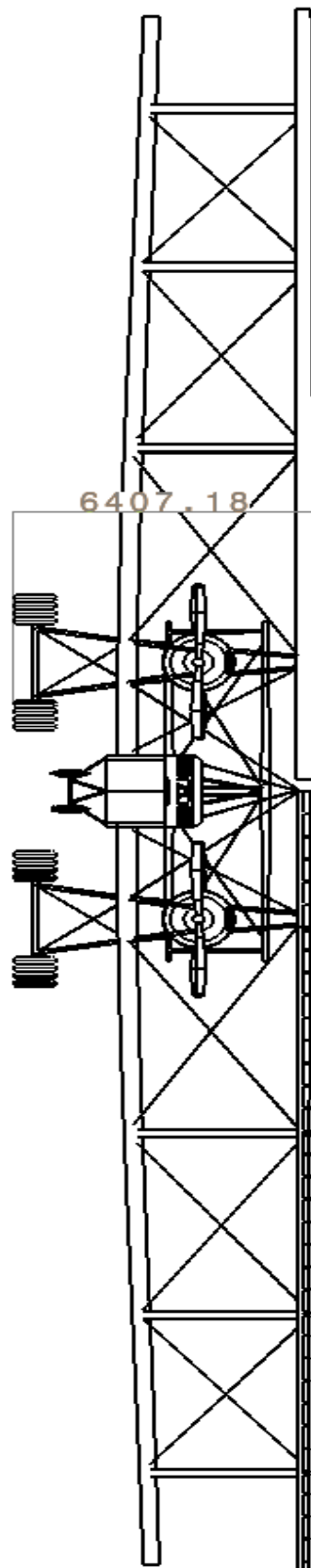


Figura 5.4.- Planos del alzado

A continuación, también se van a incluir algunas vistas del avión como las anteriores, pero en este caso se trata de la estructura del avión, es decir, sin ningún tipo de recubrimiento.

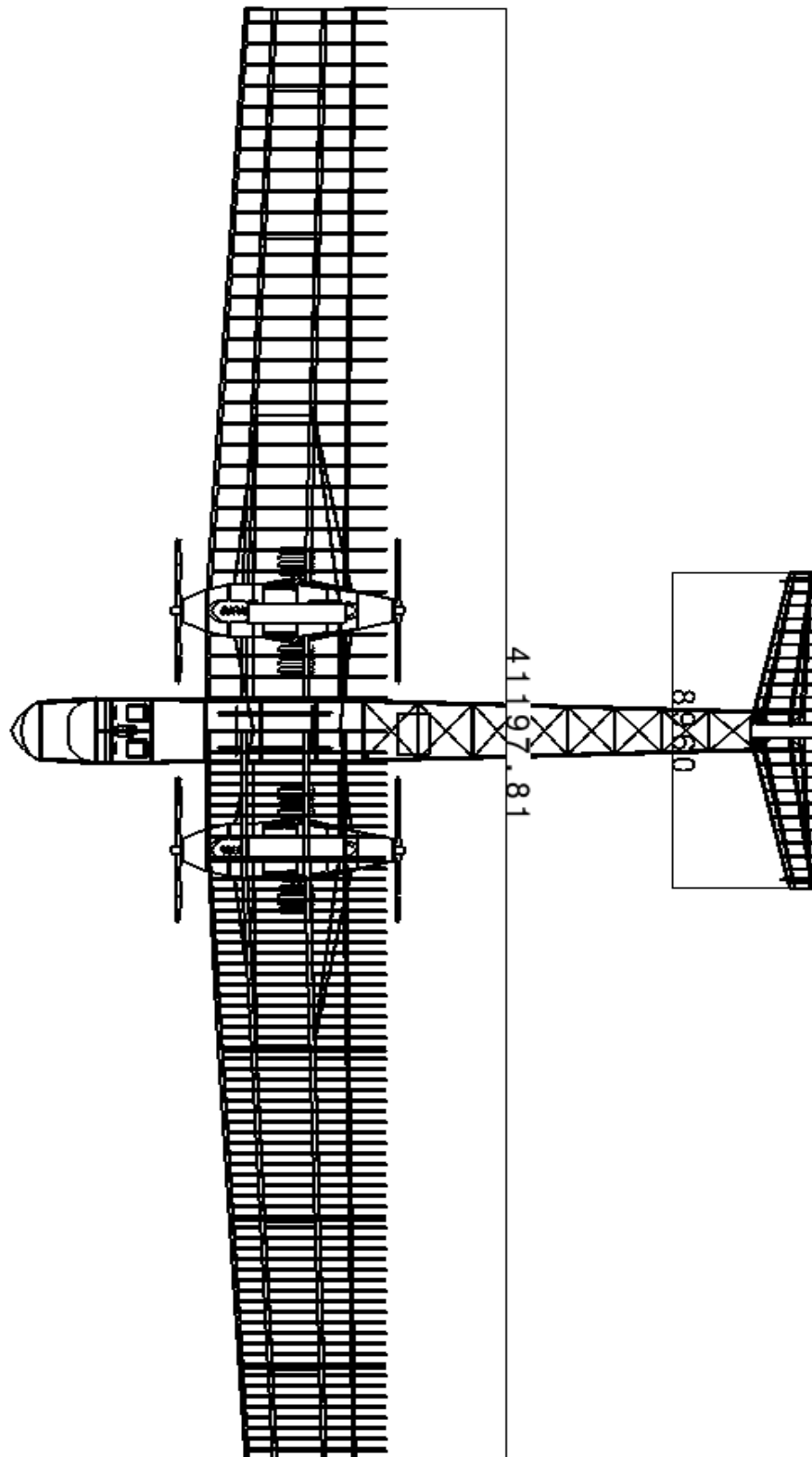


Figura 5.6.- Plano planta de la estructura del avión

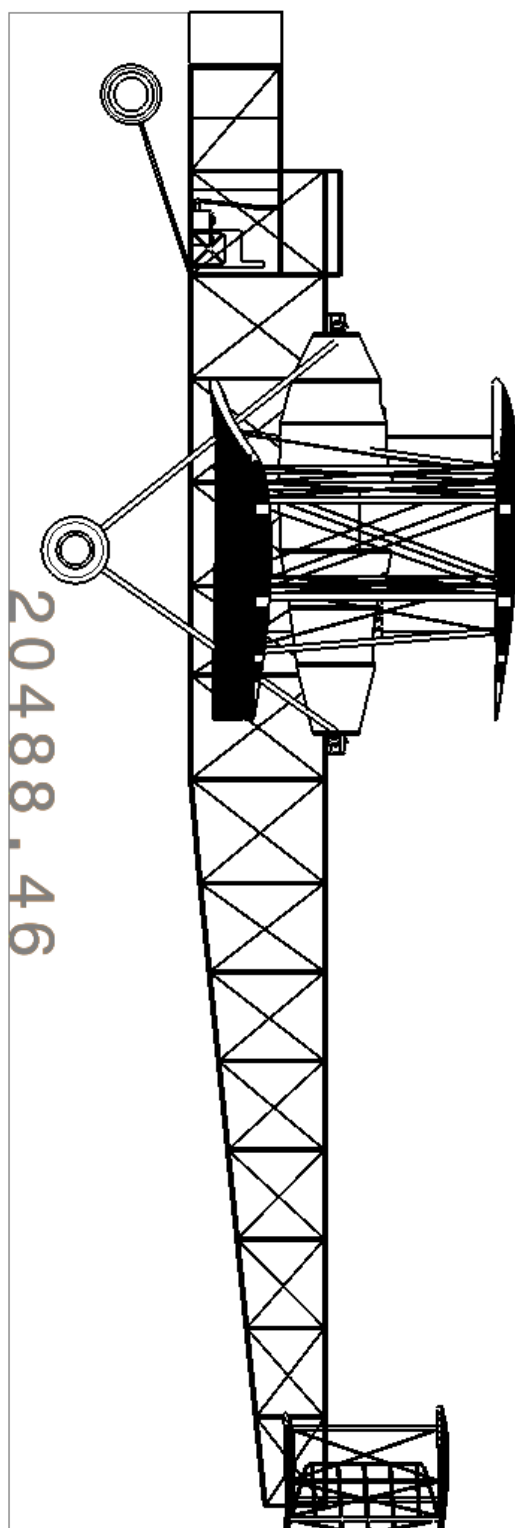


Figura 5.7.- Plano perfil estructura del avión

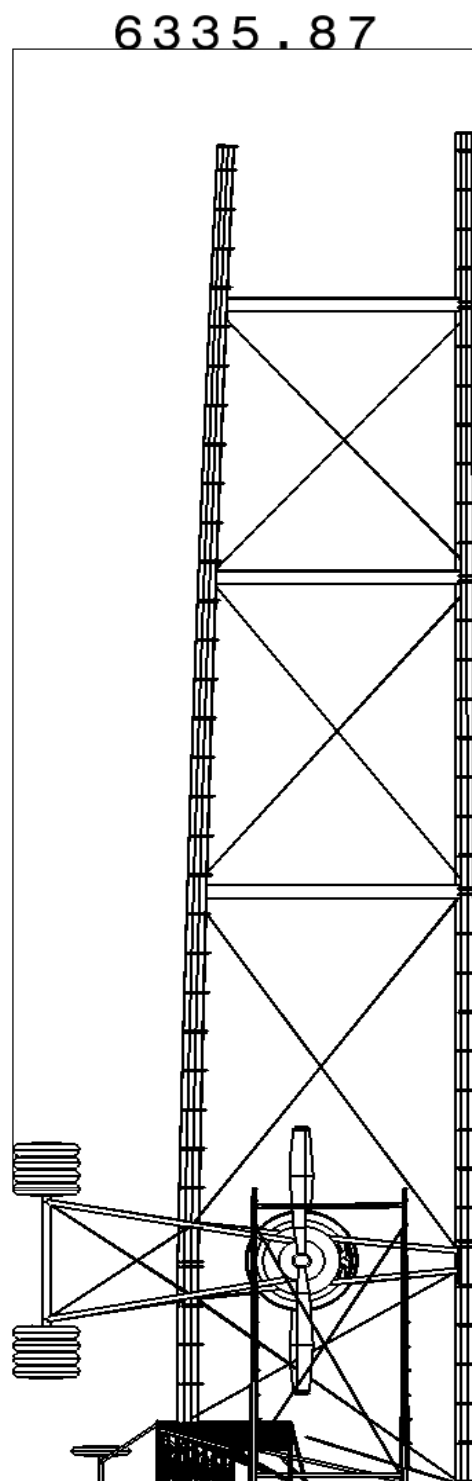


Figura 5.8.- Plano alzado estructura del avión

6 CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS

Una vez se ha finalizado el proyecto, o al menos todos los procedimientos que se habían considerados al comienzo de este trabajo, se puede hacer una pequeña reflexión a cerca del trabajo realizado, en función de las expectativas que se tenían y que sirva como culmen para este documento.

Recordando la falta de información que se ha tenido a lo largo del desarrollo de este texto, y a la complejidad de la aeronave, el resultado se puede considerar bastante satisfactorio.

Si se realiza un vistazo del modelo diseñado y se compara con las fotografías y dibujos de la época se puede comprobar que la recreación está bastante lograda.



Figura 6.1.- Modelo Zeppelin-Staaken volando

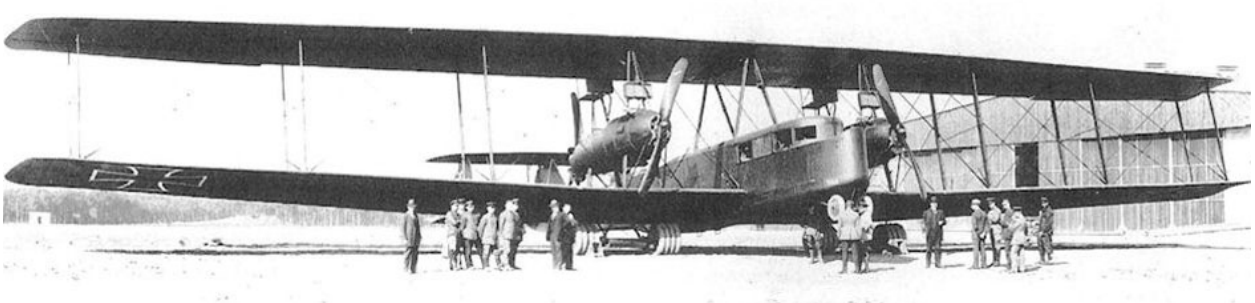


Figura 6.2.- Imagen real del Zeppelin-Staaken R.VI

Otro aspecto para destacar es el interior de la aeronave, y los pequeños detalles, los cuales, personalmente, creo que han marcado el trabajo, ya que, al ser un avión tan extenso, y con tan poca información hacer detalles no resulta una tarea fácil, sin embargo, el acabado del avión no tiene nada que envidiar a lo explicado en el libro de referencia y las distintas fuentes de información utilizadas. En la siguiente imagen, ya mostrada en el inicio del documento, se puede ver cómo es el avión estructuralmente y de ese modo comprobar la complejidad de dicha estructura.

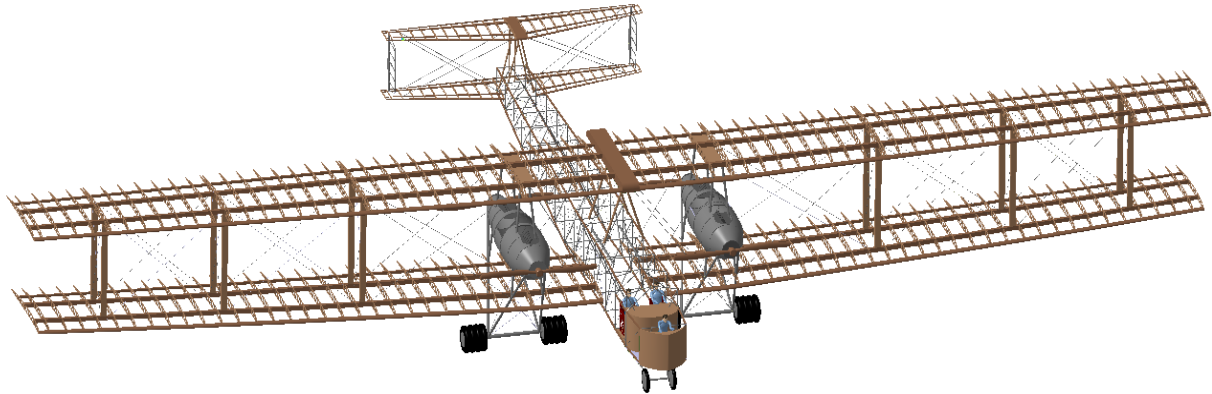


Figura 6.3.- Estructura del avión

Otro tipo de conclusión que debe ser mencionada, es la mejora que se ha obtenido en el uso del programa Catia. El trabajo se comenzó con nociones básicas sobre el programa, lo aprendido en la asignatura Diseño y Fabricación asistidos por Ordenador, y se ha mejorado bastante en los módulos que ya conocía, *Part Design*, *Wireframe and Surface Design*, *Assembly Design*, y además he aprendido el uso de un nuevo módulo, *Ergonomic Design and Analysis*.

Por último, un aspecto a destacar sería la historia de la aviación de la primera Guerra Mundial que se ha aprendido y estudiado a la hora de desarrollar este proyecto. Ya que, debido a la falta de documentación, ha sido de bastante ayuda el conocimiento sobre la aviación de dicha época.

En el proceso de la elaboración y realización de este trabajo se han omitido y simplificado algunas partes detalles de la aeronave debido a que su realización conllevaba muchas horas de trabajo y podía implicar una peor realización de otras partes del avión por falta de tiempo y sobrepasar la carga de trabajo estimada.

Con respecto al modelaje en Catia:

- Diseño de las superficies de control, tanto de las alas como de la cola del avión. Es decir, los alerones y el timón de profundidad y lateral.
- Diseño de las uniones y ensamblajes de las distintas partes del avión, lo cual se omitió por falta de información.
- Realización de *Parts* diferentes para añadir materiales al cuerpo, y de ese modo poder estudiar el comportamiento del avión.
- Diseño de los cables que unen las superficies de control con los mandos del piloto
- Diseño del material armamentístico, así como de las bombas que había en la parte inferior de la aeronave.
- Diseño más en detalle de la instrumentación que el libro de referencia menciona.

Otro aspecto que se podría haber añadido al diseño del avión es la simulación del movimiento de las distintas partes móviles a través del módulo *Kinematics*.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] G.W. Haddow & Peter M. Grosz «The German Giants: The German R-Planes: 1914-1918» Putnam Aeronautica IBooks, 2003.
- [2] Mondey, David « Aviones: Nueva enciclopedia ilustrada » 2000.
- [3] «The Zeppelin-Staaken R.VI». [Online]. Available: www.theaerodrome.com/zeppelin_staaken_re.php [Última visita: 6 Septiembre 2019].
- [4] Chant, Chris.« The World's Great Bombers: From 1914 to the Present Day.» Siverdale Books, 2000.
- [5] «Zeppeli-Staaken R.VI 1917-1918 Over London» [Online]. Available: www.uasvision.com/2019/07/05/zeppelin-staaken-r-vi-1917-18-over-london/ [Última visita: 2 septiembre 2019].
- [6] A. M. Vizanty, «German Giant: the Zeppelin Staaken R.VI» [Online]. Available: www.historynet.com/german-giant-zeppelin-staaken-r-vi.htm [Última visita: 25 abril 2019].
- [7] «UIUC Airfoil Coordinates Database» [Online]. Available: https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html [Última visita: 19 marzo 2019].
- [8] «Zeppelin Staaken R.VI blueprint» [Online]. Available: <https://drawingdatabase.com/zeppelin-staaken-r-vi/> [Última visita: 3 abril 2019].
- [9] «Model Aircraft Universe» [Online]. Available: <http://scale-model-aircraft.com/plans-drawings-wwi-aviation-zeppelin-staaken-r-vi> [Última visita: 23 marzo 2019].
- [10] «Zepellin-Staaken R-series» [Online]. Available: www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=834 [Último acceso: 4 septiembre 2019].
- [11] «Wings Palette» [Online]. Available: <http://wp.scn.ru/en/ww1/b/412/59/0> [Último acceso: 7 septiembre].